A.
16 p
Bauschinger

Bayerische
Staatsbibliothek
München

BIBLIOTHECA REGIA MONACENSIS

§. 251. **Kapillarerscheinungen.** — Wenn man die Oberfläche des Wassers in einem Gefäss aufmerksam betrachtet, so erkennt man leicht, dass diese Oberfläche allerdings fast in ihrer ganzen Ausdehnung eben ist, dass sie sich aber in der Nähe der Wand in sehr bemerkbarer Weise erhebt. Sehen wir, welches die Ursache dieser Erscheinung ist, die im Widerspruch mit Dem zu stehen scheint, was wir oben über die freie Oberfläche einer schweren Flüssigkeit gesagt haben.

Als wir oben (§. 237) zeigten, dass die freie Oberfläche einer schweren Flüssigkeit eben und horizontal sein muss, haben wir vorausgesetzt, dass die Resultante der Wirkungen, welche ein Molekül, das auf der Oberfläche der Flüssigkeit gelegen ist, seitens der benachbarten Moleküle erfährt, senkrecht auf diese Oberfläche gerichtet ist. Aber diess ist nur richtig, so lange dieses Molekül nicht zu nahe an der Wand des Gefässes liegt, welches die Flüssigkeit enthält, und die Resultate, welche wir oben erhalten haben, gelten folglich nur für solche Punkte der Oberfläche, welche dieser Bedingung genügen.

Sehen wir nun, in welcher Weise die Wände des Gefässes auf die Form der freien Oberfläche der Flüssigkeit Einfluss ausüben. Zu diesem Behufe setzen wir zunächst voraus, dass die Flüssigkeitsoberfläche bis zur Wand hin eben und horizontal sei (Fig. 346) und untersuchen nun, ob die Flüssigkeit im Gleichgewicht sein kann, wenn ihre Oberfläche diese Gestalt beibehält. Es sei A ein Molekül in der Oberfläche der Flüssigkeit, ganz nahe an der Wand des Gefässes gelegen. Beschreiben wir um den Punkt A, wie um einen Mittelpunkt, eine Kugelfläche so, dass alle die Moleküle, welche noch eine Wirkung auf das in A gelegene Molekül ausüben können, innerhalb dieser Kugelfläche gelegen seien. Man nennt diese Kugel, deren Halbmesser, nebenbei gesagt, nur eine sehr geringe Grösse hat, die W i r k u n g s s p h ä r e des Moleküls A. Wenn dieselbe nur Flüssigkeitsmoleküle enthält, so kann man sagen, wie wir es oben (§. 237) gethan haben, dass wegen der symmetrischen Anordnung die Resultante der Molekularwirkungen, welche auf das Molekül A ausgeübt werden, senkrecht zur Oberfläche der Flüssigkeit in diesem Punkte gerichtet ist. Aber wenn das Molekül A sehr nahe der Wand liegt, so dringt seine Wirkungssphäre noch in die Materie, aus welcher die Wand besteht, ein, sodass es zu gleicher Zeit den Wirkungen, welche von den Flüssigkeitsmolekülen, und

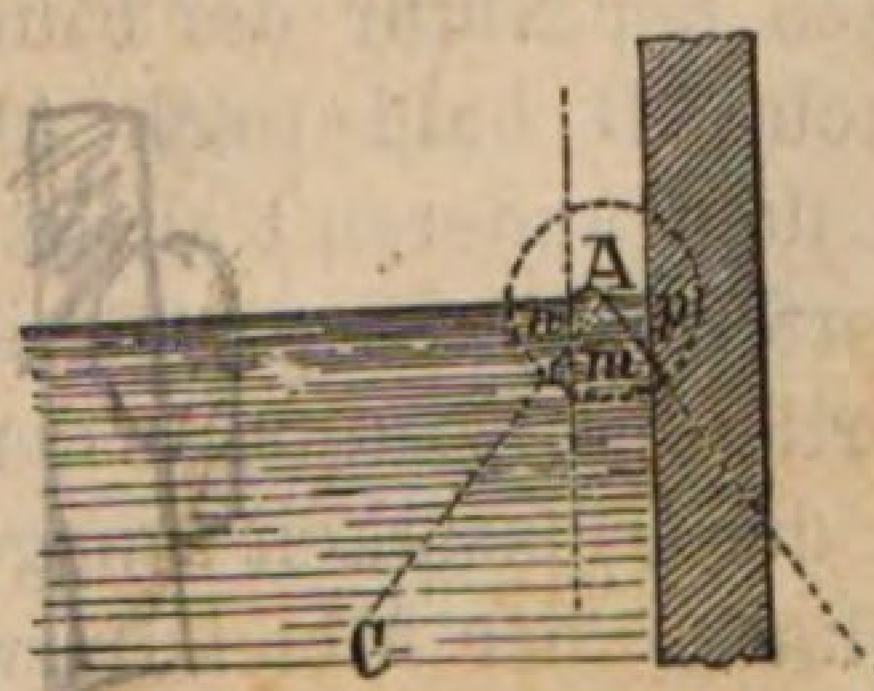


Fig. 346.

den Wirkungen, welche von denjenigen Molekülen der festen Wand, die in der Wirkungssphäre enthalten sind, herrühren, unterworfen ist. Die Symmetrie der Anordnung besteht also nicht mehr, und man kann nicht mehr sagen, dass die Resultante sämmtlicher Molekularwirkungen auf den Punkt A senkrecht auf die als horizontal vorausgesetzte Oberfläche der Flüssigkeit, d. h. also vertikal gerichtet sei.

Nehmen wir der Einfachheit halber an, dass der Theil der Wand, welcher in der Wirkungssphäre des Punktes A gelegen ist, an der Seite, wo er von der Flüssigkeit bespült wird, eben und vertikal sei. Denken wir uns ferner, dass links von dem Punkte A, parallel zu der Wandfläche, von der wir eben gesprochen haben, und in derselben Entfernung von dem Punkte A wie diese gelegen, eine Vertikalebene durch die Flüssigkeit gelegt werde. Auf diese Weise wird die im Innern der Wirkungssphäre des Punktes A gelegene Flüssigkeit in zwei Theile *m* und *n* getheilt. Die Molekularwirkungen, welche von dem Theil *m* der Flüssigkeit ausgehen, geben offenbar eine vertikale Resultante; aber der Theil *n* der Flüssigkeit und der Theil *p* der Wand, welche ebenfalls auf das Molekül A wirken, bringen eine Resultante hervor, welche im Allgemeinen eine schiefe Richtung haben wird, und man begreift, dass je nach der Natur der Flüssigkeit und der Wand diese Resultante bald nach AB bald nach AC gerichtet sein wird. In dem einen wie in dem anderen Fall ist also das Molekül A folgenden Kräften unterworfen: 1) seinem Gewicht, welches vertikal abwärts wirkt; 2) der vertikalen Resultante der Molekularwirkungen, welche von dem Theil *m* der Flüssigkeit ausgehen; 3) der im allgemeinen schiefen Resultante der Molekularwirkungen, welche von dem Theile *n* der Flüssigkeit und dem Theile *p* der Wand herrühren. Es kann daher dieses Molekül nicht im Gleichgewicht sein und folglich die Oberfläche der Flüssigkeit nicht eben und horizontal bleiben. Wenn die dritte jener drei Kräfte nach AB gerichtet ist, so wird das Molekül A gegen die Wand hin gezogen; die Flüssigkeit muss sich also in der Nachbarschaft dieser Wand anhäufen, und ihre Oberfläche muss sich in der Nähe derselben erheben und die Form annehmen, wie es Fig. 347 zeigt. Wenn diese dritte Kraft dagegen nach AC gerichtet ist, so entfernt sich das Molekül A von der Wand, die Flüssigkeit scheint von derselben abgestossen zu werden, und ihre Oberfläche senkt sich daher, um die Form anzunehmen, wie es Fig. 348 zeigt. In beiden Fällen findet nicht eher Gleichgewicht statt, als bis die Oberfläche der Flüssigkeit in der

Nähe der Wand in jedem Punkt senkrecht auf der Resultante jener drei Kräfte steht.

Es ist nicht schwer zu bestimmen, wann der eine und wann der andere von diesen beiden Fällen eintreten wird. Denken wir uns zu diesem Behufe das Molekül A (Fig. 349) der Oberfläche der Flüssigkeit dicht an der inneren Fläche der Wand gelegen, die wir wieder als eben und vertikal voraussetzen. Dann wird die Wirkungssphäre dieses Moleküls durch

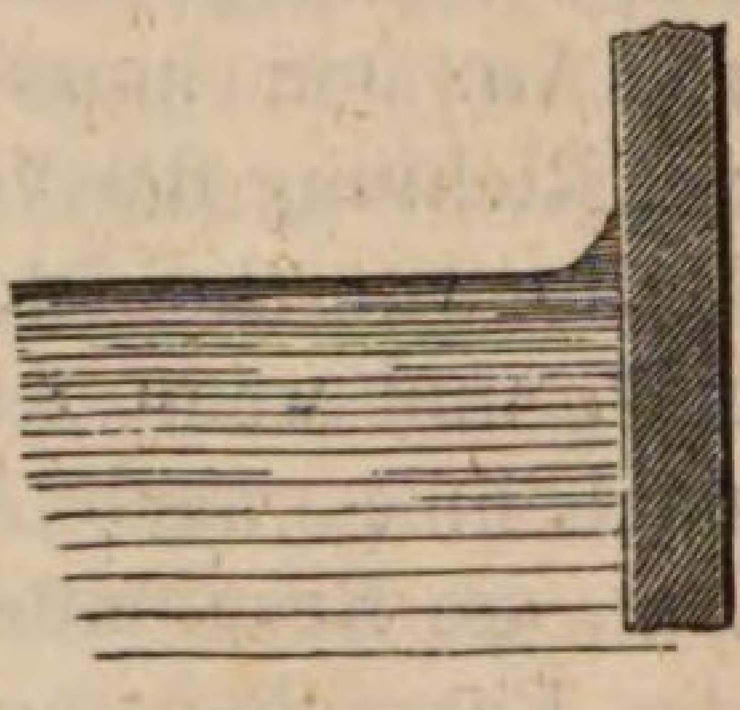


Fig. 347.

die innere Fläche der Wand in zwei Halbkugeln getheilt, von denen die eine nur Flüssigkeitsmoleküle, die andere nur Moleküle der festen Wand enthält. Der Theil *m* in Fig. 346 wird hier offenbar gleich Null. Wenn das Molekül A nicht in der Oberfläche der Flüssigkeit gelegen wäre, wenn sich diese z. B. in MN befände, so würden sämmtliche Flüssigkeitsmoleküle der linken Halbkugel der Wirkungssphäre auf A einwirken, und die Resultante dieser Einwirkungen

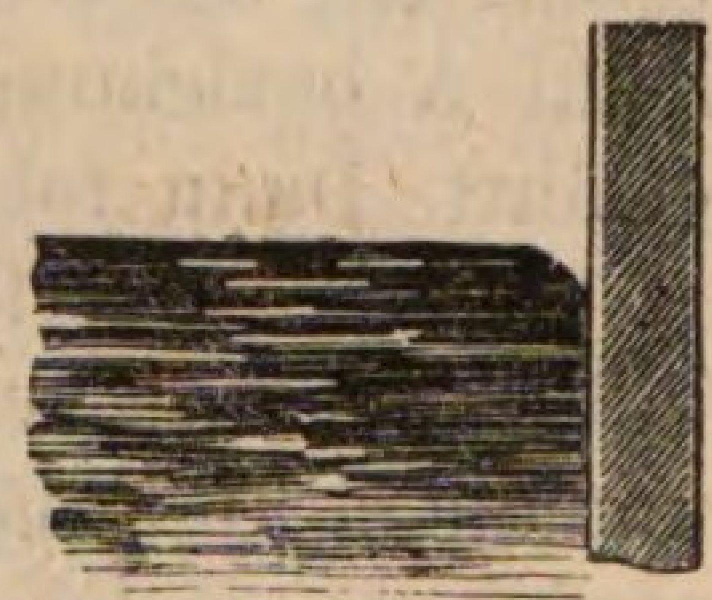


Fig. 348.

A*a* würde senkrecht zur Wand gerichtet sein. Diese Resultante könnte offenbar in zwei Seitenkräfte A*b* und A*c* von gleicher Grösse zerlegt werden, deren Richtungen bezüglich die Quadranten MAL und LA*f* halbiren, und welche offenbar die Mittelkräfte der Einwirkungen der Flüssigkeitsmoleküle vorstellen würden, welche in der beziehungsweise über und unter der Horizontalebene AL befindlichen Hälfte der in Rede stehenden Halbkugel gelegen sind. Wenn daher A in der Oberfläche AL der Flüssigkeit liegt, so fällt die Componente A*b* ganz weg, und es bleibt allein die A*c* als

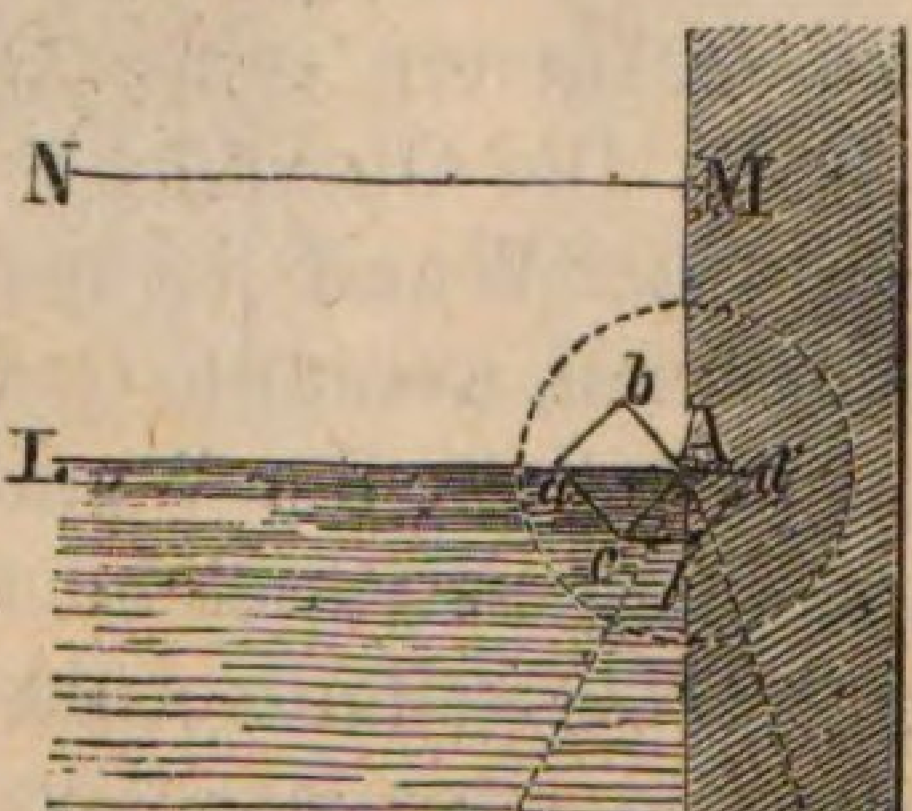


Fig. 349.

Gesammtwirkung der Flüssigkeit auf das Theilchen A übrig. Die sämmtlichen Wirkungen, welche das Molekül A von Seite der Wand erfährt, lassen sich offenbar in eine Resultante A*d* zusammenfassen, die senkrecht zur Wandfläche gerichtet ist. Auf das Molekül A wirken folglich jetzt zwei Kräfte: 1) sein Gewicht, vertikal abwärts, und 2) die Mittelkraft der beiden Kräfte A*c* und A*d*, welche, je nachdem sie nach AB oder AC gerichtet ist, wie vorhin schon gesagt, eine Erhebung oder eine Senkung der Flüssigkeit in der Nähe der Wand hervorruft. Die Grenze zwischen diesen Fällen bildet der, wo auch die Resultante der Kräfte A*c* und A*d* nach der

Vertikalen gerichtet ist, wo also die Flüssigkeit auch in der Nähe der Wand noch horizontal bleibt. Wir haben diesen Fall in unserer Figur vorausgesetzt. Es ist leicht zu sehen, dass A*d* halb so gross als A*a* sein muss, damit die Mittelkraft A*f* von A*c* und A*d* in der Richtung der Vertikalen gelegen ist. Wenn A*d* grösser als die Hälfte von A*a* ist, so wird jene Mittelkraft mehr nach rechts, nach AB, und wenn A*d* dagegen kleiner als das halbe A*a* ist, mehr nach links, nach AC gerichtet sein. Wir wollen die Kräfte A*a* und A*d*, die Resultanten der sämmtlichen Molekularwirkungen, welche das Flüssigkeitsmolekül A von je einer Hälfte seiner Wirkungssphäre zu erleiden hat, wenn dieselbe in einem Fall mit Flüssigkeitsmolekülen, im anderen Fall mit Molekülen der festen Wand erfüllt ist, die Gesammtanziehungen nennen, welche das Molekül A beziehungsweise von der Flüssigkeit und von der Wand erfährt. Dann folgt aus dem Obigen:

1) Die Oberfläche der Flüssigkeit, welche in einem Gefäss enthalten ist, wird sich in der Nähe der Wände des Gefässes erheben und die in Fig. 347 dargestellte Form annehmen, wenn die Gesammtanziehung, welche ein in nächster Nähe der Wand gelegenes Flüssigkeitstheilchen von Seite der Wand erfährt, grösser ist als die Hälfte der Gesammtanziehung, welche auf dasselbe Theilchen von Seite der Flüssigkeit ausgeübt wird. Dieser Fall tritt z. B. ein, wenn Wasser in ein reines Glasgefäss gegossen wird.

2) Die Oberfläche der Flüssigkeit wird sich dagegen in der Nähe der Wand herabsenken und die in Fig. 348 dargestellte Form annehmen, wenn die Gesammtanziehung, welche ein Flüssigkeitstheilchen von Seite der Wand erfährt, kleiner als die Hälfte der Gesammtanziehung ist, welche auf dasselbe Flüssigkeitstheilchen von Seite der Flüssigkeit ausgeübt wird. Dieser Fall tritt z. B. ein, wenn Quecksilber in ein Glasgefäss gegossen wird.

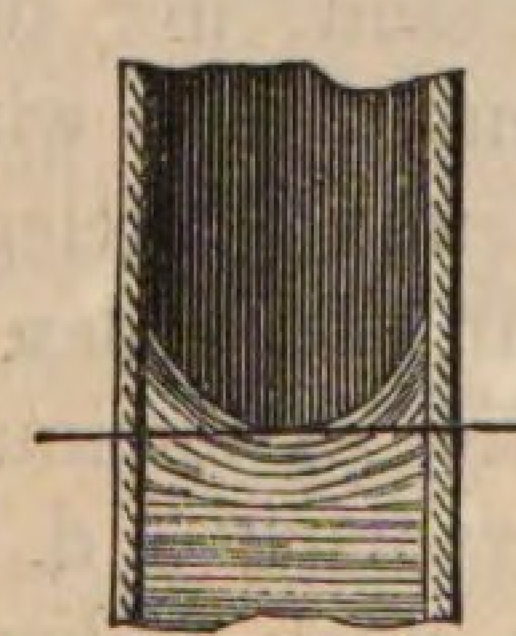
3) Wenn die Gesammtanziehung, welche ein Flüssigkeitstheilchen von Seite der Wand erfährt, gleich der Hälfte der Gesammtanziehung von Seiten der Flüssigkeit auf dasselbe Theilchen ist, so ist die Oberfläche der Flüssigkeit auch in der Nähe der Wand noch eben und horizontal.

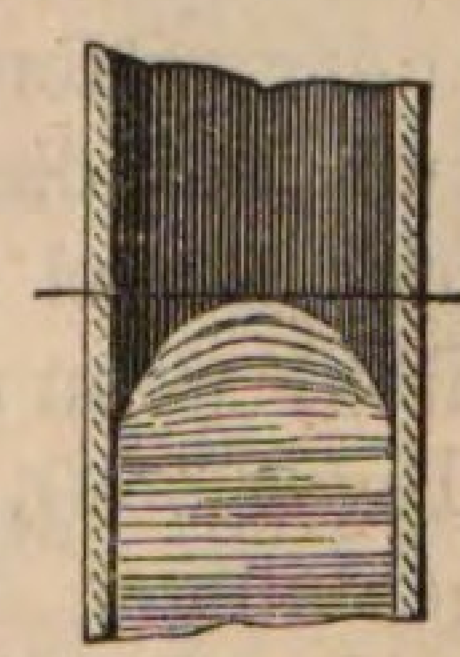
Wenn eine Flüssigkeit mit der Oberfläche eines Körpers, kürzer gesagt, mit einer Wand in Berührung kommt, so benetzt sie dieselbe entweder, wie es bei der Berührung von Wasser mit Glas stattfindet, oder es geschieht diess nicht, wie bei der Berührung von Quecksilber und Glas. Im ersteren Fall ist offenbar die Gesammtanziehung, welche ein zunächst der Wand gelegenes Flüssigkeitstheilchen von Seite dieser Wand erfährt, grösser als die Gesammt-

anziehung von Seite der Flüssigkeit auf dasselbe, im zweiten dagegen kleiner. Vergleicht man diess mit obigen Resultaten so folgt, dass eine Flüssigkeit die Wand eines Gefässes nicht benetzen und doch an dieser Wand hinaufgezogen werden kann (Fig. 347). Es darf nur die Gesammtanziehung auf ein Flüssigkeitstheilchen von Seite der Wand kleiner als die ganze, aber doch grösser als die halbe Gesammtanziehung desselben Theilchens von Seite der Flüssigkeit sein. Andererseits freilich wird immer eine Senkung der Flüssigkeit in der Nähe der Gefässwand eintreten (Fig. 348), wenn sie diese Wand nicht benetzt.

Wir haben oben vorausgesetzt, dass das Gefäss weit sei. Dann ist die Oberfläche jeder in demselben enthaltenen Flüssigkeit in einiger Entfernung von den Wänden stets eben und horizontal. Wenn aber das Gefäss enger wird, wenn seine Weite nicht mehr als 1 Centimeter etwa beträgt, dann verschwindet der horizontale Theil in der Mitte der Oberfläche vollständig. In einer Glasröhre dieser Art bildet Wasser eine durchweg concave Oberfläche (Fig. 350), Quecksilber dagegen eine convexe Kuppe (Fig. 351).

§. 252. Wenn man die unteren Theile zweier Glasstreifen A und B (Fig. 352), deren Seitenflächen vertikal und zu einander parallel gerichtet sind, in Wasser taucht, so erhebt sich, entsprechend Dem, was wir oben gesagt haben, das Wasser zu beiden Seiten jedes dieser Streifen; wenn die Streifen weit genug von einander entfernt sind, so erfährt die Form, welche die Oberfläche der Flüssigkeit in der Nähe eines von ihnen annimmt, keinerlei Einfluss durch die Gegenwart des anderen; die Oberfläche der Flüssigkeit ist zwischen den beiden erhobenen Theilen *m* und *n* in C eben und horizontal und befindet sich in derselben Höhe wie die anderen Theile D und E der Oberfläche, welche ausserhalb der beiden Streifen gelegen sind. Wenn aber durch irgend eine Ursache die Oberfläche in C gehoben wird, so steigt die Flüssigkeit in *m* und *n* in Folge dessen ebenfalls. Diess findet aber statt, wenn man die beiden Glasstreifen einander so weit nähert (Fig. 353), dass kein


Fig. 350.


Fig. 351.

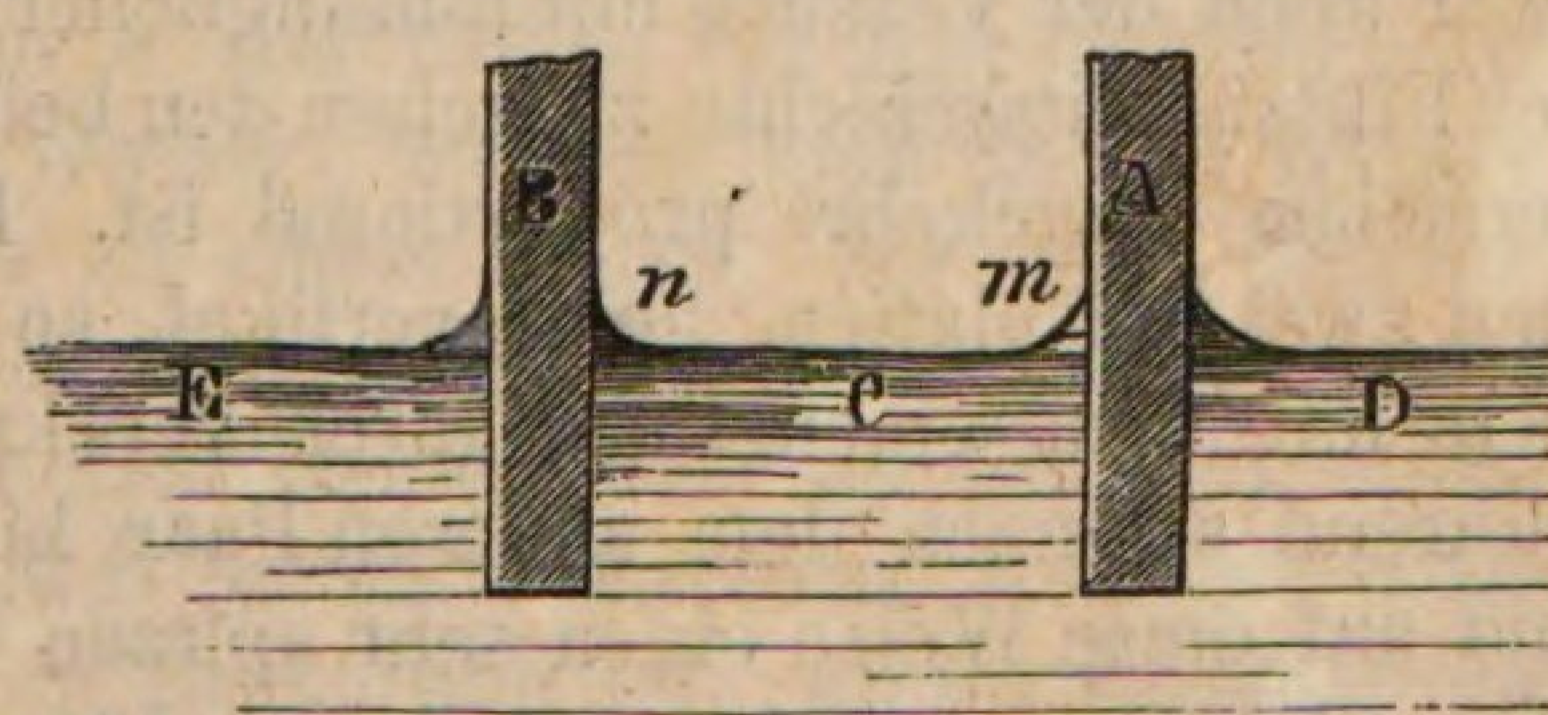


Fig. 352.

Theil der Oberfläche bei C mehr eben bleibt. Dann endigt sich der gehobene Theil *m* unten in einen Theil der Oberfläche, welcher

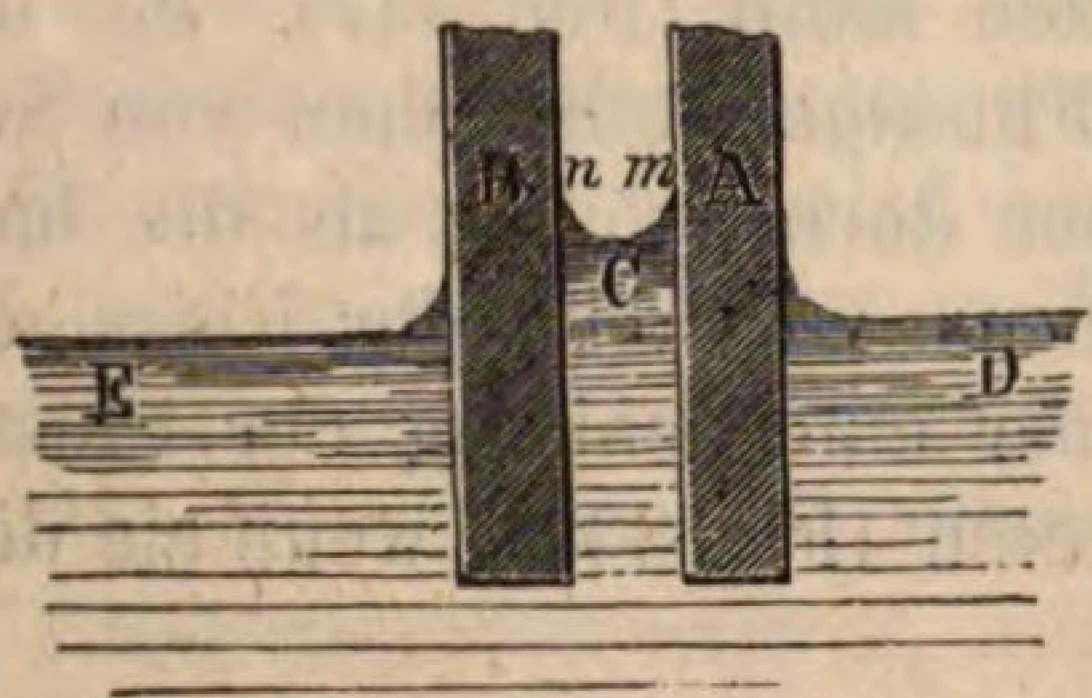


Fig. 353.

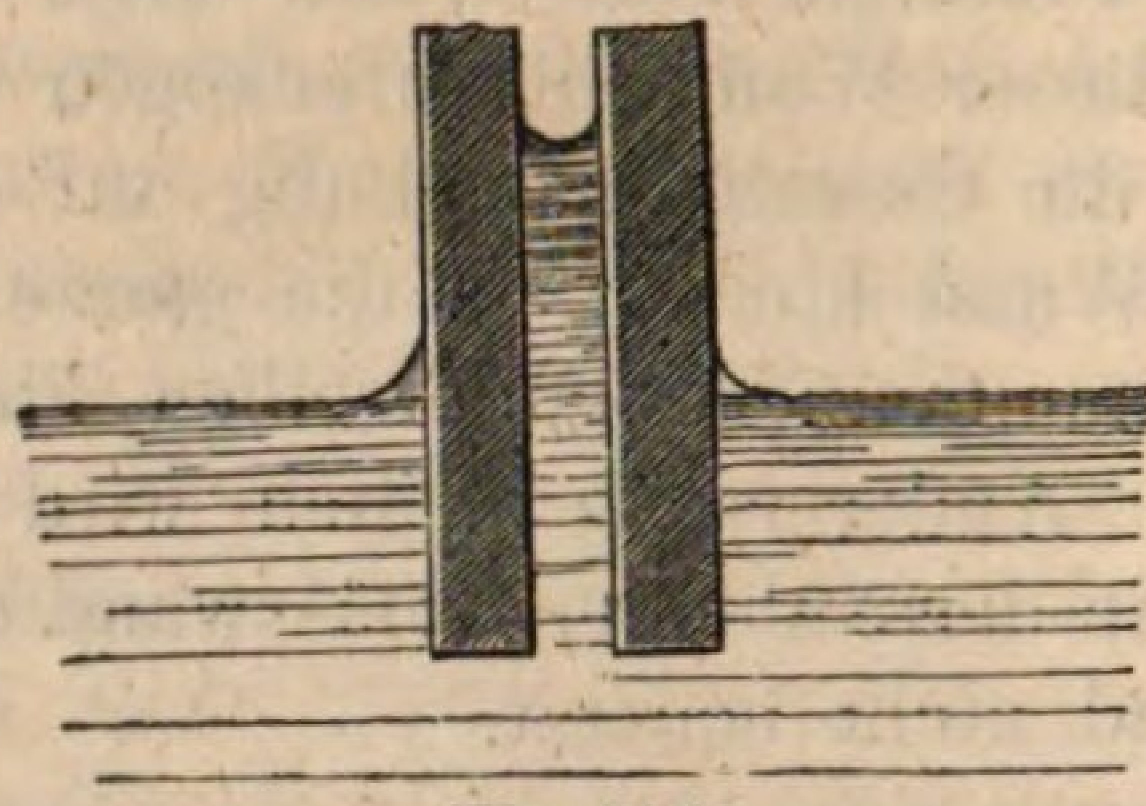
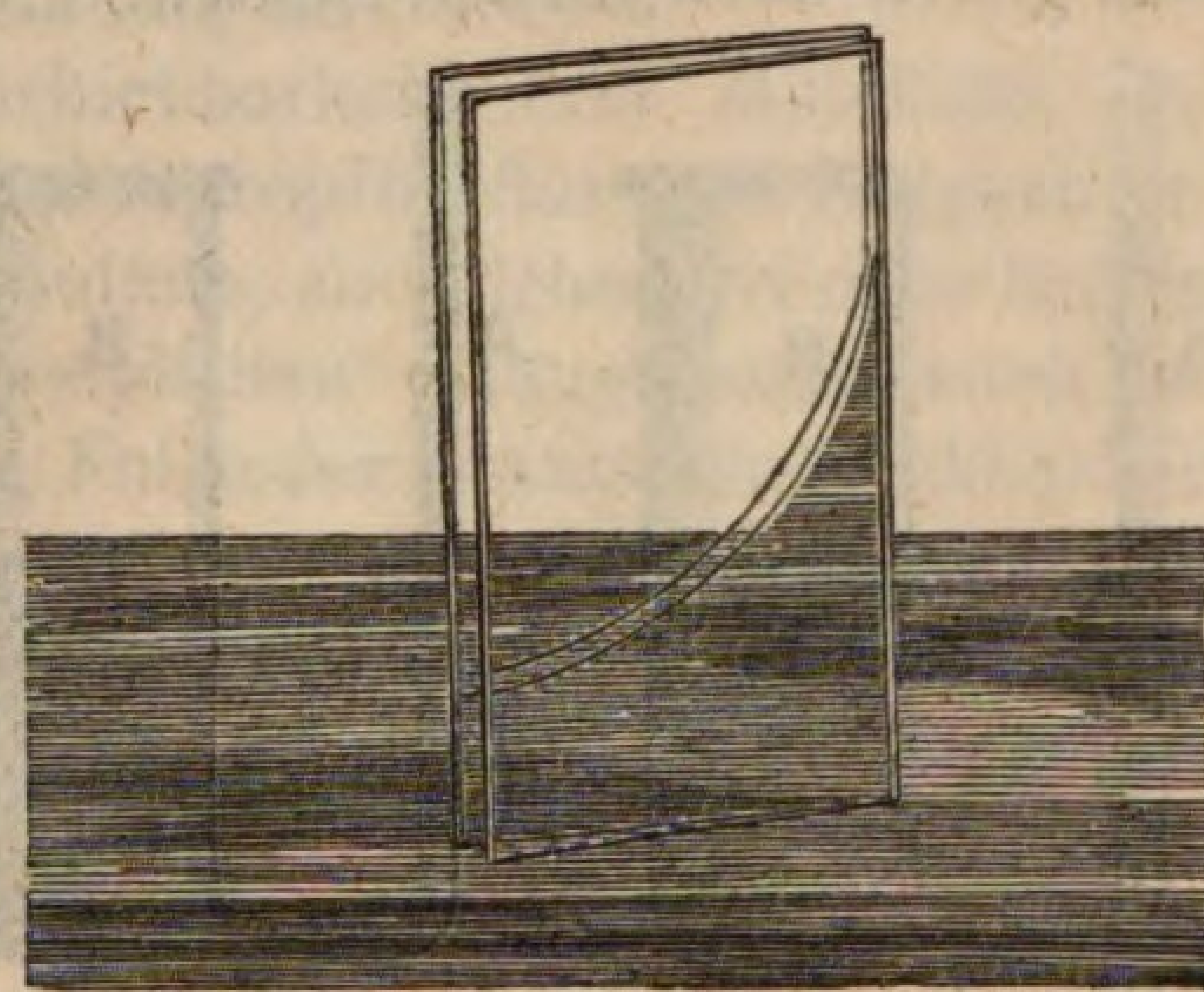


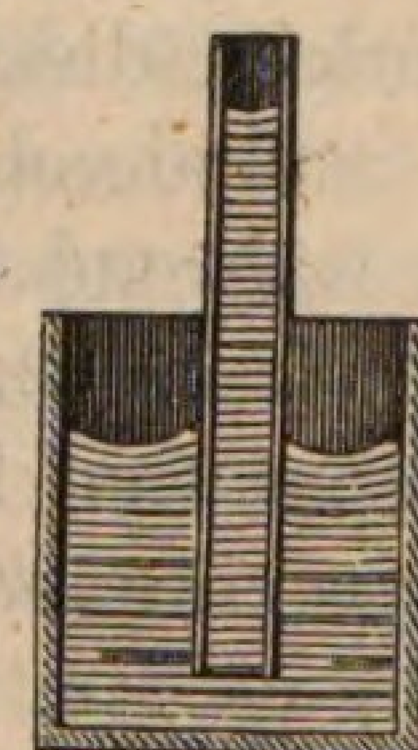
Fig. 354.

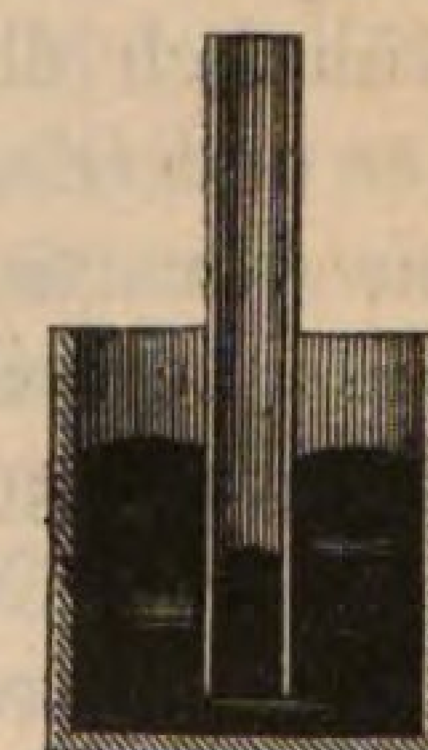
schon durch die Wirkung des Streifens B gehoben ist; er erhebt sich also höher als da, wo er an die horizontale Oberfläche angrenzte, die sich vorhin zwischen den beiden Streifen in C ausdehnte. Ebenso erhebt sich in Folge der Gegenwart des gehobenen Theils *m* der Theil *n* höher, als wenn jener nicht vorhanden wäre. Auf diese Weise wirken die beiden Erhebungen *m* und *n* gegenseitig auf einander ein und halten sich dadurch gegenseitig in grösserer Höhe, als wenn die beiden Glasstreifen weiter von einander entfernt sind; der tiefste Punkt C der Flüssigkeitsoberfläche zwischen diesen Streifen wird folglich höher als die beiden äusseren Spiegel D und E gelegen sein. Es versteht sich von selbst, dass, wenn man die beiden Glasplatten einander noch mehr nähert (Figur 354), die Erscheinung, von der wir sprechen, noch augenfälliger hervortritt, d. h. dass die Flüssigkeit zwischen den beiden Streifen noch höher steigt. Die Erhebung der Flüssigkeit zwischen den beiden Glasstreifen wird unter diesen Umständen um so grösser sein, je mehr man die Streifen einander nähert; und zwar zeigt der Versuch mit hinlänglicher Genauigkeit, dass die Höhe der Flüssigkeitsschichte zwischen den beiden Streifen der Entfernung derselben umgekehrt proportional ist. Diess zeigt sich auch, wenn man zwei Glasplatten, beide vertikal, so in Wasser taucht, dass sie sich mit dem einen Paar ihrer vertikalen Seitenlinien berühren, während sie nach dem anderen Paar hin etwas auseinander laufen und auf diese Weise einen sehr spitzen Winkel miteinander bilden (Fig. 355); man sieht alsdann die Flüssigkeit zwischen den Platten in dem Winkelraum, welchen sie bilden, in die Höhe steigen, und zwar um so höher, je näher sie der Kante ist, wo sich die beiden Platten berühren, d. h. je enger der Zwischenraum ist, welchen diese zwischen sich lassen. Die Form der dadurch gebildeten Curve ist die einer gleichseitigen Hyperbel.

Es ist wohl von selbst klar, dass in dem Fall, wo man die beiden Platten oder Streifen in Quecksilber taucht, die Flüssigkeit zwischen ihnen tiefer stehen muss, als ausserhalb.


Fig. 355.

§. 253. Wenn man anstatt zweier paralleler Glasstreifen ein Glasröhrchen von sehr kleinem Durchmesser in Wasser oder Quecksilber taucht, so beobachtet man ähnliche Erscheinungen wie bei jenen, die auch auf dieselbe Weise wie dort erklärt werden können. Das Wasser hebt sich in dem Röhrchen über das Niveau der Flüssigkeit ausserhalb desselben (Fig. 356), und zwar um so höher, je enger das Röhrchen ist. Dabei ist seine Oberfläche im Röhrchen stets concav. Das Quecksilber dagegen steht im Röhrchen tiefer als ausserhalb desselben (Fig. 357), und zwar wieder um so tiefer, je enger das Röhrchen ist; seine Oberfläche ist immer convex. Der Versuch zeigt auch hier, dass die Hebung oder Senkung ein und derselben Flüssigkeit dem Durchmesser des Röhrchens umgekehrt proportional ist; ausserdem steht die Flüssigkeit in einem Röhrchen doppelt so hoch oder tief als zwischen zwei Platten, die um den Durchmesser des Röhrchens von einander entfernt sind.


Fig. 356.


Fig. 357.

Wenn man zwei communicirende Gefässe A und B (Fig. 358) nimmt, von denen das eine A eine Röhre von sehr kleinem Durchmesser ist, so steigt das Wasser, welches man in das Gefäss B giesst, in der Röhre A bis zu einem Punkt, der sehr bedeutend über der freien Oberfläche der Flüssigkeit im Gefäss B gelegen ist; nach dem Gesetz der communicirenden Gefässe (§. 245) müssten beide Oberflächen in A und B gleich hoch stehen, wenn die Wände, mit denen die Flüssigkeit in Berührung ist, dieses Resultat nicht modificiren würden.

Eine ähnliche, aber umgekehrte Erscheinung zeigt sich, wenn man in dieselben communicirenden Gefässe Quecksilber eingiesst (Fig. 359). Die Oberfläche des Quecksilbers bleibt in der engeren Röhre A sehr bedeutend unter dem Niveau derselben Flüssigkeit im Gefäss B, während diese beiden Oberflächen ohne die in Rede

stehende Wirkung nach dem oben angeführten Gesetz in beiden Gefässen, gleich hoch stehen sollten.

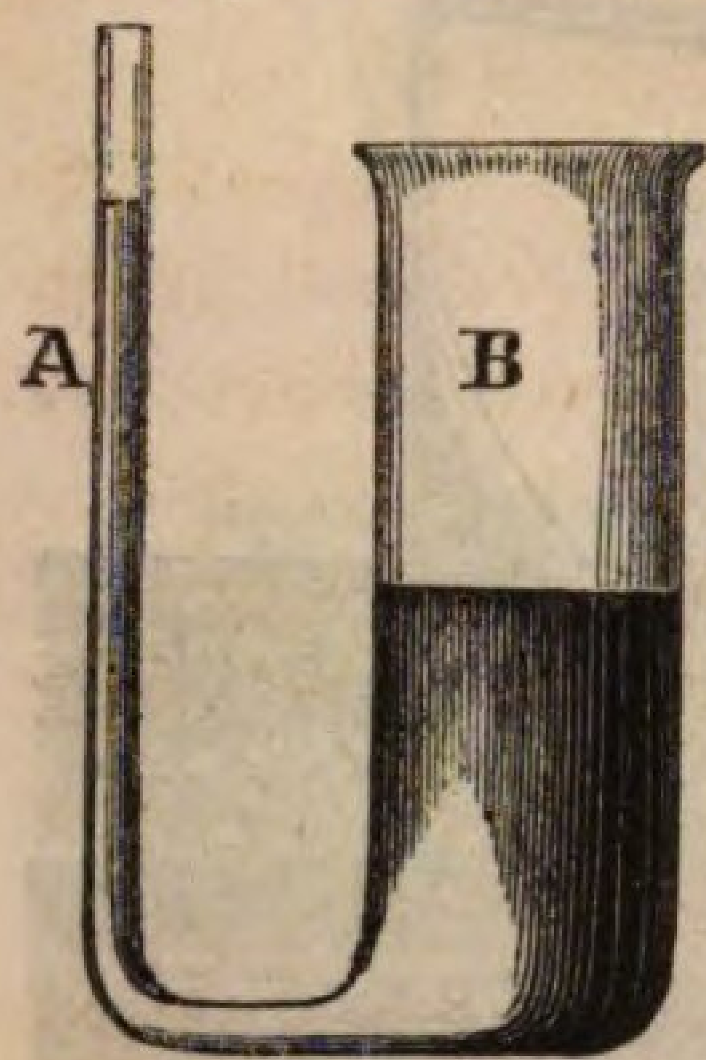


Fig. 358.

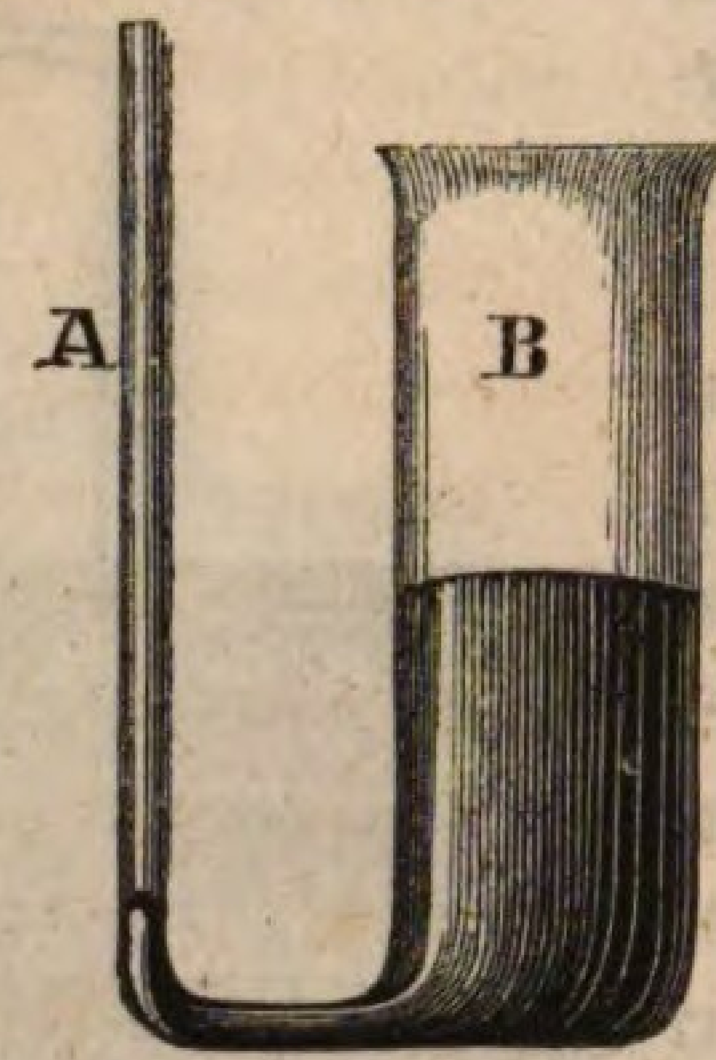


Fig. 359.

Man nennt die Röhrchen von sehr kleinem Durchmesser, in welchen sich die eben besprochenen Hebungen und Senkungen der Flüssigkeiten, welche im Widerspruch mit den Gesetzen des Gleichgewichts der Flüssigkeiten zu stehen scheinen, erzeugen, Haar- oder Kapillarröhrchen. Von ihnen haben die gesammten Erscheinungen, mit denen wir uns oben beschäftigt haben, den Namen Haarröhrchen- oder Kapillar-Erscheinungen erhalten, und zwar nennt man gewöhnlich diejenigen dieser Erscheinungen, die den zwischen Wasser und Glas stattfindenden ähnlich sind, Erscheinungen der Kapillar-Attraction, während diejenigen, für welche uns das Verhalten des Quecksilbers zum Glas als Beispiel gedient hat, Erscheinungen der Kapillar-Depression heissen. Diese Kapillarerscheinungen spielen in der Natur eine sehr grosse Rolle; um ein Beispiel dafür anzuführen, reicht es hin, wenn wir sagen, dass das Aufsteigen der Säfte in den Pflanzen hauptsächlich der Kapillarität der feinen Gefässe derselben zuzuschreiben ist.

§. 254. **Fortpflanzung des Druckes in den Gasen.** — Die Gase haben mit den tropfbar flüssigen Körpern eine Eigenschaft gemeinschaftlich: das ist die leichte Verschiebbarkeit ihrer Theilchen gegen einander; aber sie unterscheiden sich auf der anderen Seite wesentlich von denselben. Eine Flüssigkeitsmasse ist beinahe vollständig unzusammendrückbar; wie gross auch der Druck ist, den man anwendet, um dieselbe zu veranlassen, einen kleineren Raum einzunehmen, so ist doch die Verminderung des Volumens, welche dadurch hervorgebracht wird, kaum merkbar. Eine Gasmasse dagegen gibt der Kraft, welche sie zusammen zu drücken sucht, sehr leicht nach; ihr Volumen lässt sich unter wachsendem Druck bis auf die Hälfte, das Drittel, Viertel von dem reduciren, welches sie vorher einnahm. Und wenn dieser Druck wieder nachlässt, so nimmt das Gas das Volumen, das es ursprünglich besass, vollständig wieder ein. Ja noch mehr, wenn eine Masse Gas in einem vollständig geschlossenen Gefäss enthalten ist, und es wird der Rauminhalt dieses Gefässes auf irgend eine Art ver-

grössert, so dehnt sich das Gas alsbald aus, um den ganzen Raum, welcher sich ihm darbietet, vollständig auszufüllen.

In Folge der leichten Verschiebbarkeit ihrer Moleküle, der Eigenschaft, welche die Gase mit den tropfbarflüssigen Körpern gemein haben, gelten die meisten Resultate, zu welchen wir oben bezüglich der Drückungen in den Flüssigkeiten gelangt sind, auch für die luftförmigen Körper. Aber in Folge der Zusammendrückbarkeit und Elasticität der Gase müssen mehrere dieser Gesetze etwas modificirt werden, um sie auf dieselben anwenden zu können. Wir wollen diese Gesetze der Reihe nach durchgehen, um anzugeben, worin diese Modificationen bestehen.

Betrachten wir zunächst eine Gasmasse, welche in einem völlig geschlossenen Gefäss enthalten ist, und deren verschiedene Moleküle keiner andern Kraft als den Einwirkungen, welche sie selbst gegenseitig auf einander ausüben, unterworfen sind. Eine solche Gasmasse befindet sich offenbar unter denselben Umständen, wie die Flüssigkeit, mit der wir uns in den §§. 224 bis 228 beschäftigt haben; es genügt, in den Betrachtungen, welche wir dort anstellten, einen einzigen Unterschied zu berücksichtigen, um sie unmittelbar auf unsere Gasmasse übertragen zu können. In dem Falle einer Flüssigkeit nämlich kann man sich an irgend einem der Kolben, durch welche wir Theile der Wand ersetzt haben, eine beliebige Kraft angebracht denken; das Gleichgewicht wird immer bestehen können, vorausgesetzt, dass die Kräfte, welche an dem anderen Kolben angebracht sind, im richtigen Verhältniss zu der ersteren stehen. Im Falle eines Gases dagegen ist die Kraft, welche an jedem der Kolben angebracht werden muss, vollständig durch die Expansivkraft oder Spannkraft des Gases bestimmt, welche dasselbe in Folge seines fortwährenden Bestrebens, sich auszudehnen, gegen alle Wände des Gefässes ausübt. Wenn die Kraft, welche auf einen der Kolben wirkt, nicht gross genug wäre, so würde ihn das Gas auswärts drücken; wenn sie dagegen zu gross wäre, so würde das Gas zusammengedrückt werden, und der Kolben würde in das Innere des Gefässes eindringen. Indem man dem eben besprochenen Unterschied, der aus der Zusammendrückbarkeit und Elasticität der Gase entspringt, Rechnung trägt und auf diese Weise die Entwickelungen der §§. 224 bis 228 nochmals durchnimmt, gelangt man zu folgenden Resultaten.

1) Wenn eine Gasmasse in einem Gefäss enthalten ist, und zwei Kolben A und B (Fig. 314 Seite 415) verschliessen genau zwei Oeffnungen, welche in der Wand dieses Gefässes angebracht sind, so müssen sich die Kräfte, welche auf diese beiden Kolben

ausgeübt werden müssen, um das Gas im Gleichgewicht zu halten, umgekehrt wie die Oberflächen dieser beiden Kolben verhalten.

2) Wenn eine Gasmasse in einem verschlossenen Gefäss enthalten ist, so sind die Drückungen, welche das Gas in Folge seiner Spannkraft auf verschiedene Wandstücke des Gefässes ausübt, proportional den Grössen dieser Wandstücke.

3) Wenn man durch einen Punkt A, der im Innern einer im Gleichgewicht befindlichen Gasmasse gelegen ist, verschiedene Ebenen hindurch legt, so sind die Drückungen, welche auf diese Ebenen ausgeübt werden, wenn man sie auf die Flächeneinheit bezieht, sämmtlich unter sich gleich: jede dieser Drückungen nennt man kurz den Druck oder die Spannung in dem Punkte A. Sie ist die nämliche, wo auch der Punkt A im Innern der Gasmasse genommen werden mag und überdiess von derselben Grösse wie der Druck, der auf irgend ein Stück der Wand des Gefässes ausgeübt und auf die Flächeneinheit bezogen wird.

§. 255. **Die Gase sind schwer.** — Wir haben in dem Vorhergehenden vorausgesetzt, dass die Gasmoleküle nur der Wirkung der Kräfte ausgesetzt sind, welche sie selbst gegenseitig aufeinander ausüben: aber diess ist in Wirklichkeit niemals der Fall. Die Gase sind schwer, ebenso gut wie die Flüssigkeiten, und die Wirkung der Schwerkraft auf ihre Moleküle modificirt die Resultate, welche wir, ohne diese Wirkung zu berücksichtigen, im Vorhergehenden erhalten haben.

Sehen wir zunächst, wie man sich davon überzeugen kann, dass in der That auch die Gase der Wirkung der Schwerkraft unterworfen sind; auf die gewöhnliche Weise, wie diess bei den festen und flüssigen Körpern so leicht möglich ist, kann man sich nicht Gewissheit darüber verschaffen: wenn man eine Gasmasse frei loslässt, so sieht man sie nicht wie jene Körper zu Boden fallen. Doch ist der Versuch, welcher zeigt, dass auch die Gase, wie die atmosphärische Luft z. B., schwer sind, einfach anzustellen. Man nimmt einen grossen Ballon A (Fig. 360) von Glas, der an seiner Oeffnung mit einer Messingfassung und einem Hahn B versehen ist. Diese Messingfassung trägt inwendig ein Schraubengewinde, mittelst dessen der Ballon auf dem Teller einer Luftpumpe befestigt werden kann, wie es Fig. 360 zeigt. Wenn diess geschehen ist, öffnet man den Hahn B und pumpt mittelst der Luftpumpe die Luft aus dem Ballon aus. Nachdem man hierauf den Hahn B wieder geschlossen hat, schraubt man den Ballon vom Teller der Luftpumpe wieder ab und befestigt an seiner Fassung mittelst desselben Gewindes, das wir schon oben erwähnt haben, ein kleines

Häckchen C, an welchem er unter der einen Wagschale einer Wage (Fig. 361) aufgehängt werden kann. Man legt, nachdem diess geschehen ist, auf die andere Schale so viele Gewichte, bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Wenn man hierauf den Hahn des Ballons öffnet, so strömt die Luft von selbst wieder in ihn ein, und man sieht nun die Wagschale, an welcher der Ballon hängt, herabsinken. Um das Gleichgewicht wieder herzustellen, müssen auf die andere Schale noch Gewichte zugelegt werden, und diese auf's Neue zugelegten Gewichte geben offenbar das Gewicht der in dem Ballon enthaltenen Luft. Die Luft ist also schwer. Für andere Gase kann der Versuch auf die nämliche Art angestellt werden; nur muss man natürlich anstatt Luft das betreffende Gas in den Ballon einströmen lassen und ausserdem noch andere Umstände berücksichtigen, die wir jedoch jetzt noch nicht näher besprechen können.

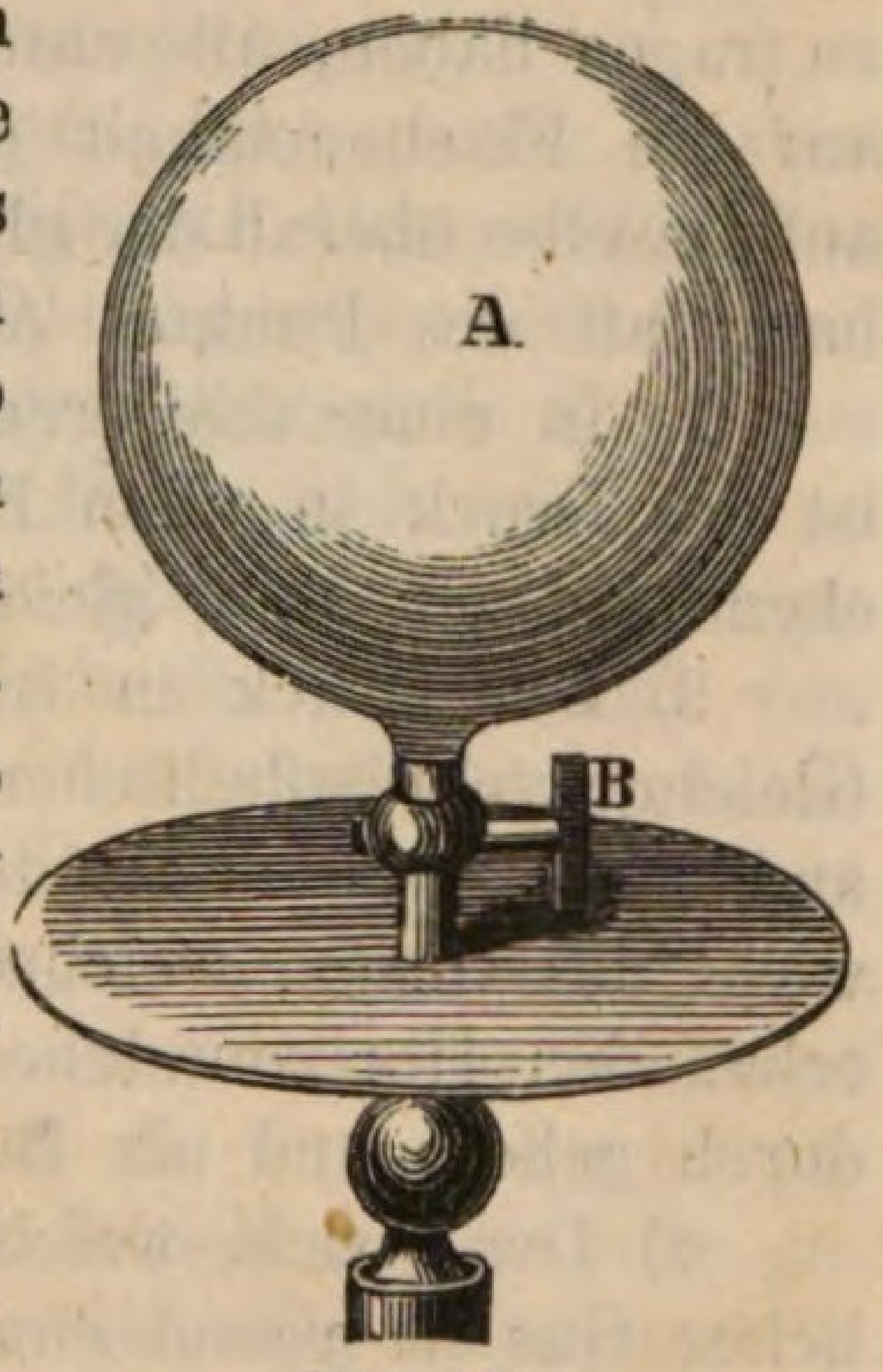


Fig. 360.

§. 256. **Drückungen in schweren Gasen.** — Indem man auf die Gase dieselben Schlussfolgerungen, welche wir in den §§. 229 bis 234 für die schweren Flüssigkeiten gemacht haben, anwendet und dabei die Zusammendrückbarkeit und Elasticität der Gase in Rechnung zieht, gelangt man zu folgenden Resultaten.

1) In einer schweren, im Gleichgewicht befindlichen Gasmasse sind die Drückungen, welche sehr kleine gleichgrosse Theile der Ebenen, die alle durch ein

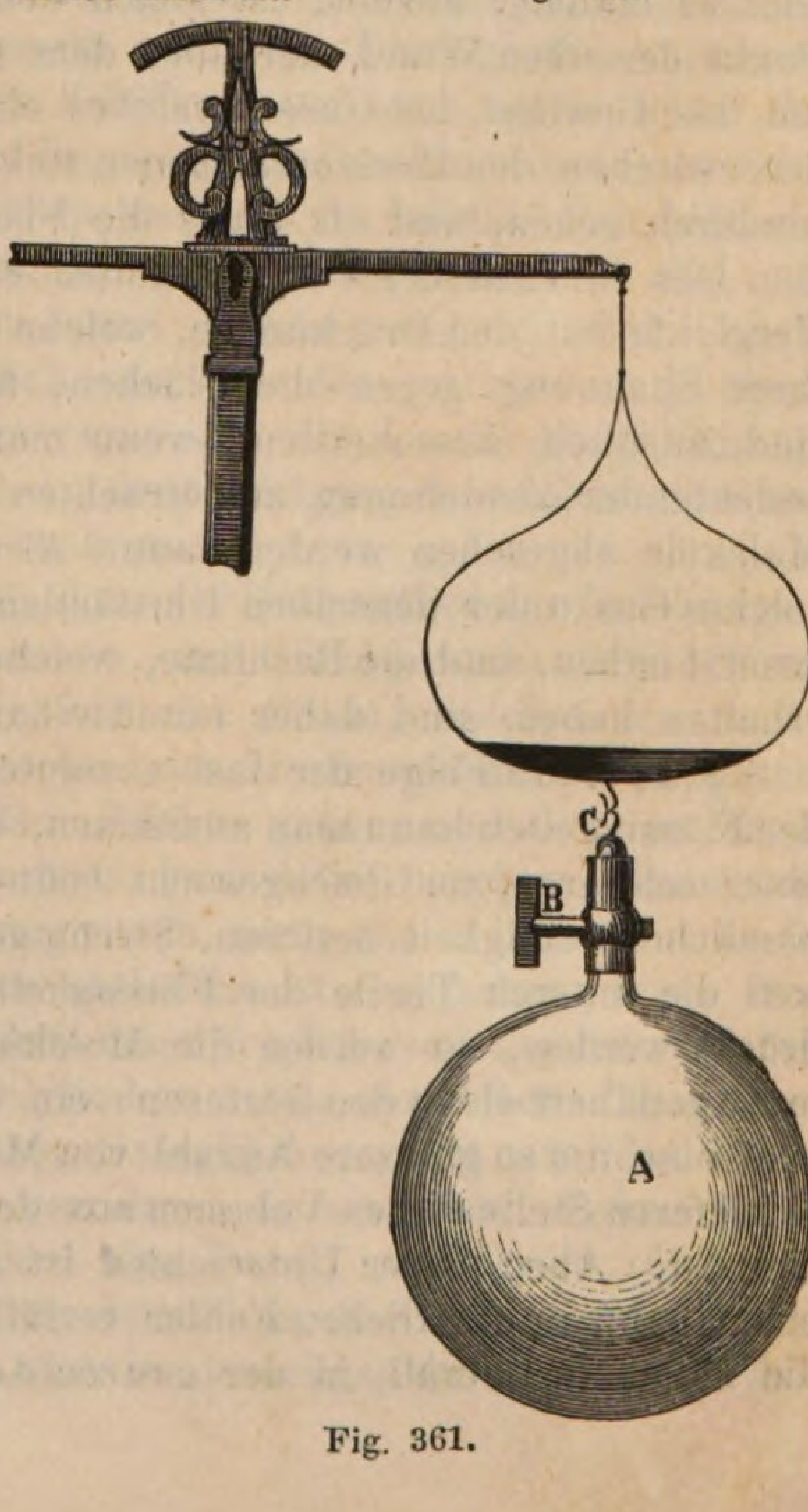


Fig. 361.

und denselben Punkt im Innern der Gasmasse hindurch gehen, zu tragen haben, alle unter sich gleich. Der Gesammtdruck, welcher auf die Flächeneinheit jeder dieser Ebenen ausgeübt würde, wenn auf dieselbe überall der gleiche Druck stattfände, wie in der Nachbarschaft des Punktes A, heisst der Druck in dem Punkte A.

2) In einer schweren, im Gleichgewicht befindlichen Gasmasse ist der Druck in allen Punkten, welche in derselben Horizontalebene gelegen sind, gleichgross.

3) Der Druck in irgend einem Punkte einer schweren, im Gleichgewicht befindlichen Gasmasse ist gleich dem Druck in einem anderen, der höher als der erste gelegen ist, vermehrt um das Gewicht des Gases, welches ein vertikaler Cylinder enthält, der zwischen den Horizontalebenen steht, welche durch jene Punkte hindurch gehen, und als Basis die Flächeneinheit hat.

4) Der Druck, welchen ein schweres, im Gleichgewicht befindliches Gas in irgend einem Punkte der Wand des Gefässes, welches es enthält, ausübt, ist gleich dem Druck auf einen anderen Punkt derselben Wand, der über dem ersten gelegen ist, vermehrt um das Gewicht des Gases, welches ein vertikaler Cylinder enthält, der zwischen den Horizontalebenen steht, welche durch jene Punkte hindurch gehen, und als Basis die Flächeneinheit hat.

Das Gewicht der Volumeneinheit eines Gases ist so gering im Vergleich mit den Drückungen, welche die Gase gewöhnlich in Folge ihrer Spannung gegen die Flächen, mit denen sie in Berührung sind, ausüben, dass meistens, wenn man nicht Gasmassen von sehr bedeutender Ausdehnung zu betrachten hat, von dem Gewicht ihrer Moleküle abgesehen werden kann. Alsdann befindet sich aber ein solches Gas unter denselben Umständen, die wir im §. 254 vorausgesetzt haben, und die Resultate, welche wir in diesem Paragraphen erhalten haben, sind daher unmittelbar auf dasselbe anwendbar.

§. 257. In Folge der fast absoluten Unzusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten kann man annehmen, dass die verschiedenen Theile einer schweren, im Gleichgewicht befindlichen Flüssigkeitsmasse die nämliche Dichtigkeit besitzen. Streng genommen ist diess nicht so: weil die unteren Theile der Flüssigkeit stärker als die oberen gedrückt werden, so werden die Moleküle in den ersteren einander mehr genähert als in den letzteren; ein und dasselbe Volumen muss also eine um so grössere Anzahl von Molekülen enthalten, an einer je tieferen Stelle dieses Volumen aus der Flüssigkeitsmasse genommen ist. Aber dieser Unterschied ist so gering, dass man nur in einen ganz unmerklichen Fehler verfällt, wenn man annimmt, dass die Moleküle überall, in der ganzen Ausdehnung der Flüssigkeits-

masse gleiche Entfernungen von einander haben, oder mit anderen Worten, dass die Dichtigkeit überall die nämliche ist.

Etwas Anderes ist diess bei den Gasen. Ihre grosse Zusammendrückbarkeit verursacht, dass der geringste Unterschied des Druckes zwischen zwei Punkten einer im Gleichgewicht befindlichen Gasmasse einen merkbaren Unterschied in der Dichtigkeit des Gases in diesen beiden Punkten hervorruft: die Dichtigkeit wird um so grösser, je stärker der Druck ist. In einer schweren, im Gleichgewicht befindlichen Gasmasse nimmt folglich die Dichtigkeit von ihren obersten bis zu ihren untersten Theilen fortwährend zu. In Punkten dagegen, welche in ein und derselben Horizontalebene gelegen sind, ist wie der Druck, der in ihnen stattfindet, so auch die Dichtigkeit durchweg dieselbe. Wenn man sich die ganze Gasmasse durch eine grosse Anzahl Horizontalebenen, die nur eine sehr geringe Entfernung von einander haben, in Schichten von sehr geringer Dicke zerschnitten denkt, so kann man die Dichtigkeit in jeder dieser Schichten durch die ganze Ausdehnung derselben als gleichgross betrachten; dagegen wird die Dichtigkeit zunehmen, wenn man von einer dieser Schichten auf eine andere unter ihr gelegene übergeht. Die Anordnung in der Gasmasse kann auf diese Weise mit derjenigen verglichen werden, in welcher sich schwere Flüssigkeiten von verschiedenen Dichtigkeiten, welche in ein und demselben Gefäss enthalten, und welche nach §. 244 durch ebene und horizontale Flächen von einander getrennt sind, übereinander schichten. Nur muss man sich die Anzahl dieser Flüssigkeiten sehr gross und die Dicke der Schichten, in welchen sie übereinander lagern, sehr klein denken.

Wenn man sagt (§. 256), dass der Unterschied der Drückungen in zwei Punkten einer schweren, im Gleichgewicht befindlichen Gasmasse gleich ist dem Gewicht des Gases, welches ein vertikaler Cylinder fässt, der zwischen den Horizontalebenen enthalten ist, welche durch jene beiden Punkte gehen, und der zur Basis die Flächeneinheit hat, so muss man dabei beachten, dass das Gas in diesem Cylinder so genommen wird, wie es in der Gasmasse zwischen den beiden Ebenen enthalten ist, zwischen denen der Cylinder steht; seine Dichtigkeit muss folglich von der unteren bis zur oberen Grundfläche des Cylinders stetig abnehmen. Man kann also das Gewicht eines solchen Gascylinders nicht wie das eines Flüssigkeitscylinders dadurch berechnen, dass man sein Volumen mit dem Gewicht der Volumeinheit des Gases multiplicirt (§. 238). Wenn es sich aber um Höhenunterschiede handelt, welche nicht sehr gross sind, so ändert sich in denselben die Dichtigkeit des

Gases wegen seines geringen Gewichtes um nicht viel, und man kann das Gewicht des Gascylinders auswerthen, indem man seine Dichtigkeit durchweg als gleich und gleich der mittleren annimmt und dann ebenso verfährt wie bei einer Flüssigkeit; der Fehler, in welchen man dabei verfällt, ist in den meisten Fällen unmerklich.

§. 258. Wenn ein Gas in einem geschlossenen Gefäss enthalten ist, und man vergrössert die Dimensionen dieses Gefässes, so dehnt sich das Gas alsbald aus, um den ganzen Raum, welcher sich ihm darbietet, auszufüllen. Man hat noch niemals, in keinem Experiment eine Grenze dieser Ausdehnbarkeit der Gase gefunden. Stets hat sich gezeigt, dass eine gewisse Quantität Gas, wie klein dieselbe auch genommen wurde, allemal den ganzen Raum ausfüllte, der sich ihr darbot, wie gross derselbe auch sein mochte. Es gibt also keine freie Oberfläche eines schweren Gases, die wir unserer Betrachtung zu unterziehen hätten; in keinem der Fälle, denen wir in unseren Versuchen begegnen werden, wird sich ein Gas in eine freie Oberfläche endigen.

Es ist indessen nicht wahrscheinlich, dass diese Eigenschaft der Gase, sich immerfort auszudehnen, wenn sie nicht daran gehindert werden, denselben wirklich ohne Grenze zukommt. Das Bestreben eines Gases, sich auszudehnen, rührt von der abstossenden Kraft her, die sich zwischen seinen Molekülen geltend macht, einer Kraft, welche der Wärme zugeschrieben werden muss, da sie sich vergrössert oder verkleinert, je nachdem die Temperatur des Gases steigt oder fällt. In dem Masse jedoch, als das Gas sich ausdehnt, als sich seine Moleküle von einander entfernen, muss sich die abstossende Molekularkraft zwischen denselben vermindern, und sie wird bei fortgesetzter Ausdehnung endlich so klein werden, dass sie fast ganz verschwindet; dagegen wird sich dann die anziehende Kraft zwischen den Molekülen geltend machen, die allgemeine Kraft der Gravitation, der sich höchst wahrscheinlich kein Körper in der Natur entziehen kann. Man begreift daraus, dass sich ein Gas wohl in sehr weiten Grenzen, aber doch nicht bis in's Unendliche ausdehnen kann; seine Moleküle, nachdem sie einmal bis in gewisse Entfernung von einander gekommen sind, werden kein weiteres Bestreben mehr zeigen, diese Entfernung noch mehr zu vergrössern.

§. 259. **Atmosphäre.** — Die Luft, in welcher wir leben, ist ein Gas, welches ringsum die Erde umgibt. Was die Höhe betrifft, bis zu welcher sich dasselbe über die Oberfläche der Erde erstreckt, so wissen wir zunächst, dass überall, in jeder Höhe, die uns durch das Besteigen hoher Berge oder mittelst des Luftballons

noch erreichbar ist, Luft angetroffen wurde. Die Luftmasse, welche sich über der Erdoberfläche ausdehnt, und welche man die Atmosphäre der Erde nennt, besitzt also eine bedeutende Höhe; es ist aber nicht schwer einzusehen, dass sie sich nicht bis in's Unendliche erstrecken kann. Es gibt eine Grenze, über welche hinaus sich keine atmosphärische Luft mehr befinden kann, und wir können uns, wenn auch nicht eine sehr genaue, doch eine annähernde Vorstellung von der Höhe dieser Grenze über der Erdoberfläche auf folgendem Wege verschaffen. Denken wir uns irgend ein Molekül der atmosphärischen Luft in gewisser Höhe über der Oberfläche der Erde und in der Ebene des Aequators derselben gelegen. Auf dieses Molekül wirken zunächst zwei Kräfte, die Anziehung, welche es von Seite der Erde erfährt, und die Centrifugalkraft, welche aus seiner Rotations-Bewegung um die Erdaxe entspringt; denn die ganze Atmosphäre muss sich nothwendig mit der Erde, und zwar mit derselben Winkelgeschwindigkeit wie diese um die Axe derselben drehen. Die erste dieser Kräfte sucht das Molekül der Oberfläche der Erde zu nähern, die zweite wirkt in gerade entgegengesetztem Sinne. So lange nun das Molekül, welches wir betrachten, nicht sehr weit von der Oberfläche der Erde entfernt genommen wird, überwiegt die erste jener beiden Kräfte die zweite. Das Molekül sucht sich also der Erde zu nähern, wird aber durch die abstossende Wirkung, welche es von den benachbarten Molekülen erfährt, und welche es von der Oberfläche der Erde zu entfernen sucht, daran verhindert. Aber wenn wir das in Rede stehende Molekül immer weiter und weiter von der Erdoberfläche entfernt, aber immer noch in der Aequatorebene gelegen annehmen, so wird die Kraft, mit welcher es von der Erde angezogen wird, immer kleiner, die Centrifugalkraft dagegen immer grösser (Ende des §. 126); der Unterschied zwischen beiden, die Kraft, mit der sich das Theilchen der Erde zu nähern sucht, wird daher immer kleiner und folglich immer leichter von der abstossenden Kraft zwischen den Luftmolekülen selbst im Gleichgewicht gehalten. Die Folge davon ist, dass die gegenseitige Entfernung dieser Moleküle um so grösser und daher die Dichtigkeit der Luft um so kleiner werden muss, je höher man sich über die Oberfläche der Erde erhebt. Nun ist klar, dass man endlich, bei fortgesetzter Erhebung auf einen Punkt kommen muss, wo die Schwerkraft nur gerade noch ebenso gross als die Centrifugalkraft ist, wo sich also diese beiden Kräfte das Gleichgewicht halten. Ueber diesen Punkt hinaus kann sich aber, wie man leicht sieht, die Atmosphäre nicht erstrecken. Denn angenommen, es wären über diese Grenze hinaus

noch Gasmoleküle gelegen, so würde an diesen die Centrifugalkraft die Schwerkraft überwiegen, sie würden also, so zu sagen, mit einer Kraft gleich dem Ueberschuss der ersteren über die letztere von der Erde weg in den Weltenraum hinaus getrieben und könnten keinen Theil der Atmosphäre mehr bilden. Man findet auf diese Weise, dass die Grenze der Atmosphäre in der Ebene des Aequators ungefähr 5000 geographische Meilen über der Oberfläche der Erde gelegen sein muss. Für diejenigen Luftmoleküle, welche ausserhalb des Aequators gelegen sind, gelten ganz ähnliche Schlüsse, nur hat man zu beachten, dass für dieselben die Centrifugalkraft nicht nur kleiner wird, sondern auch der Schwerkraft nicht mehr direkt entgegenwirkt.

Aber man würde eine sehr unrichtige Vorstellung von dem Zustande der Erdatmosphäre haben, wenn man sich denken würde, dass die Luft den Raum zwischen der Oberfläche der Erde und der Grenze, die wir so eben gefunden haben, gleichmässig erfülle. Wir haben schon oben nachgewiesen, dass die Dichtigkeit der Luft um so geringer werden muss, je höher man sich in derselben erhebt; und es ist leicht, uns auch noch auf anderem Wege Gewissheit darüber zu verschaffen. Denken wir uns einen Cylinder, der sich vertikal über der Erde bis zu einer beliebigen Höhe hin erhebt und untersuchen wir den Zustand der Luft im Innern dieses Cylinders. Jede der verschiedenen Schichten, in die man sich diese Luftsäule durch Horizontalebenen zerlegt denken kann, hat das Gewicht der über ihr liegenden Luftschichten zu tragen Der Druck, welchen eine solche Luftschichte auszuhalten hat, ist also um so schwächer, je höher diese Schichte gelegen ist; und daraus folgt, dass die Dichtigkeit der Luft in dem Maasse abnehmen muss, als man sich über die Oberfläche der Erde erhebt. Das Gesetz, nach welchem diese Abnahme der Dichtigkeit erfolgt, kann entweder durch Rechnung, oder auch durch die Erfahrung ermittelt werden, indem man sich auf hohen Bergen oder in Luftballons so weit als möglich über die Oberfläche der Erde erhebt. Man hat dadurch gefunden, dass, wenn es möglich wäre, sich in eine Höhe von ungefähr 7 geographischen Meilen über die Erdoberfläche zu erheben, man dort nur noch eine so geringe Menge Luft antreffen würde, dass ihre Gegenwart durch keines der uns zu Gebot stehenden Mittel mehr nachgewiesen werden könnte. Für unsere Beobachtungen überschreitet also die Höhe der Atmosphäre nicht 7 geographische Meilen. Diese Zahl bleibt weit unter der, die wir oben angegeben haben; aber man muss desshalb nicht glauben, dass sie dieser widerspricht. Es sagt uns dieser Unterschied nur, dass sich die Atmosphäre noch

weit über die Grenze hinaus erstreckt, bis zu welcher es uns möglich wäre, die Gegenwart der Luft nachzuweisen, wenn wir uns so weit erheben könnten; und zugleich sehen wir, dass der Uebergang aus dem Bereich der Atmosphäre in den luftleeren Raum ausserhalb derselben so ganz allmälig ist, dass von einer scharfen Grenze keine Rede sein kann.

Die Höhe von 7 geographischen Meilen erscheint sehr bedeutend, wenn man sie mit den Höhen vergleicht, die uns zugänglich sind. Die höchsten Berge unserer Erde sind nur sehr wenig über eine geographische Meile hoch. Gleichwohl ist die Luftverdünnung auf ihrem Gipfel bereits so weit vorgeschritten, dass Menschen auf längere Zeit in diesen Regionen nicht mehr leben können. Wenn man dagegen jene Höhe von 7 Meilen mit den Dimensionen der Erde selbst vergleicht, so sieht man, dass in Wirklichkeit die Atmosphäre nur eine sehr dünne Gashülle bildet, welche die Erde von allen Seiten umgibt.

§. 260. **Druck der atmosphärischen Luft.** — Die atmosphärische Luft übt einen Druck gegen die Oberfläche aller Körper aus, mit denen sie in Berührung ist. Aus dem Vorhergehenden folgt, dass dieser Druck, bezogen auf die Flächeneinheit, gleich dem Gewichte einer Luftsäule ist, die zur Basis die Flächeneinheit hat, und welche bis zur Grenze der Atmosphäre hinaufreicht. Dieser Druck wird ebensowohl auf die Körper, welche sich im Innern eines Zimmers, als auf diejenigen, welche sich in freier Luft befinden, ausgeübt. Denn die Luft in einem Zimmer steht vermittelst der Kamine, sowie der Spalten und Ritzen an Thüren und Fenstern u. s. w. stets mit der äusseren Luft in Verbindung, sodass sich der Druck der atmosphärischen Luft mit ungeschwächter Stärke von aussen nach innen fortpflanzen kann. Folgende Versuche sollen dazu dienen, das Vorhandensein des Druckes der atmosphärischen Luft ausser Zweifel zu setzen und eine Vorstellung von der Grösse desselben zu geben.

Man nimmt einen hohlen Cylinder von Glas (Fig. 362), den man auf der einen Seite mit einer Thierblase, welche man fest um den Rand der Oeffnung herumbindet, luftdicht verschliesst. Diesen Cylinder stellt man auf den Teller einer Luftpumpe so, dass die Ränder seiner unverschlossenen Basis in innige Berührung mit der Fläche des Tellers kommen, zu welchem Zwecke diese Ränder vorher abgeschliffen werden. Wenn man hierauf die Luft aus dem Innern des Cylinders fortschafft, indem man die Luftpumpe in Thätigkeit setzt, so sieht man die Blase ihre Gestalt verändern; nach-

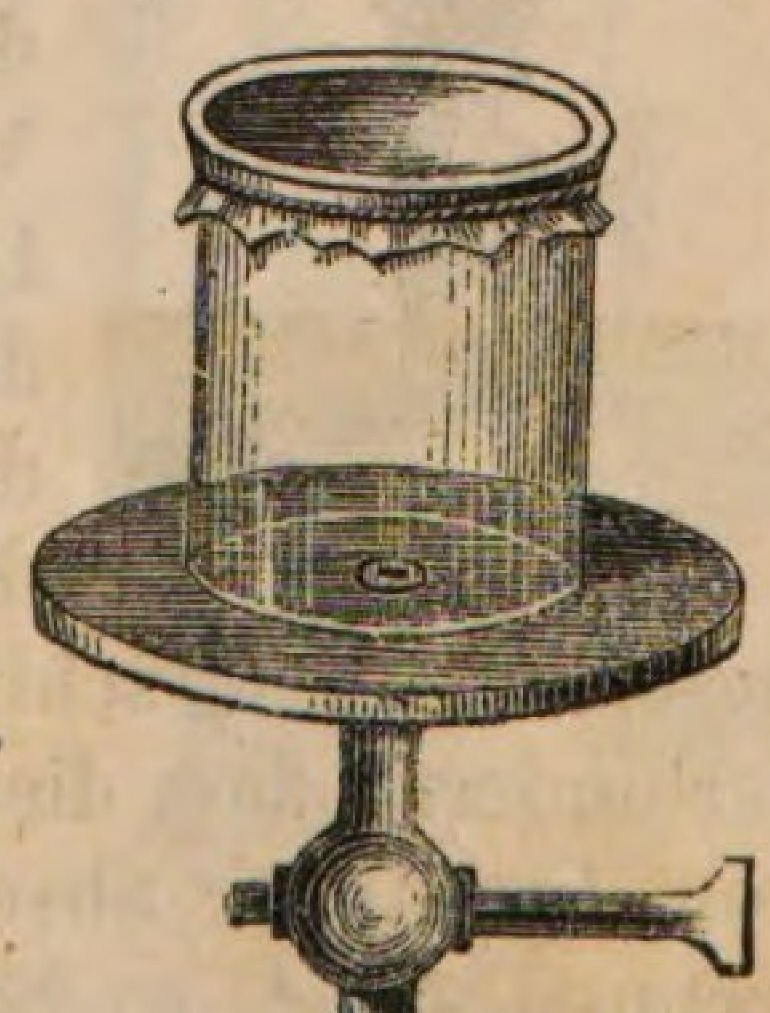
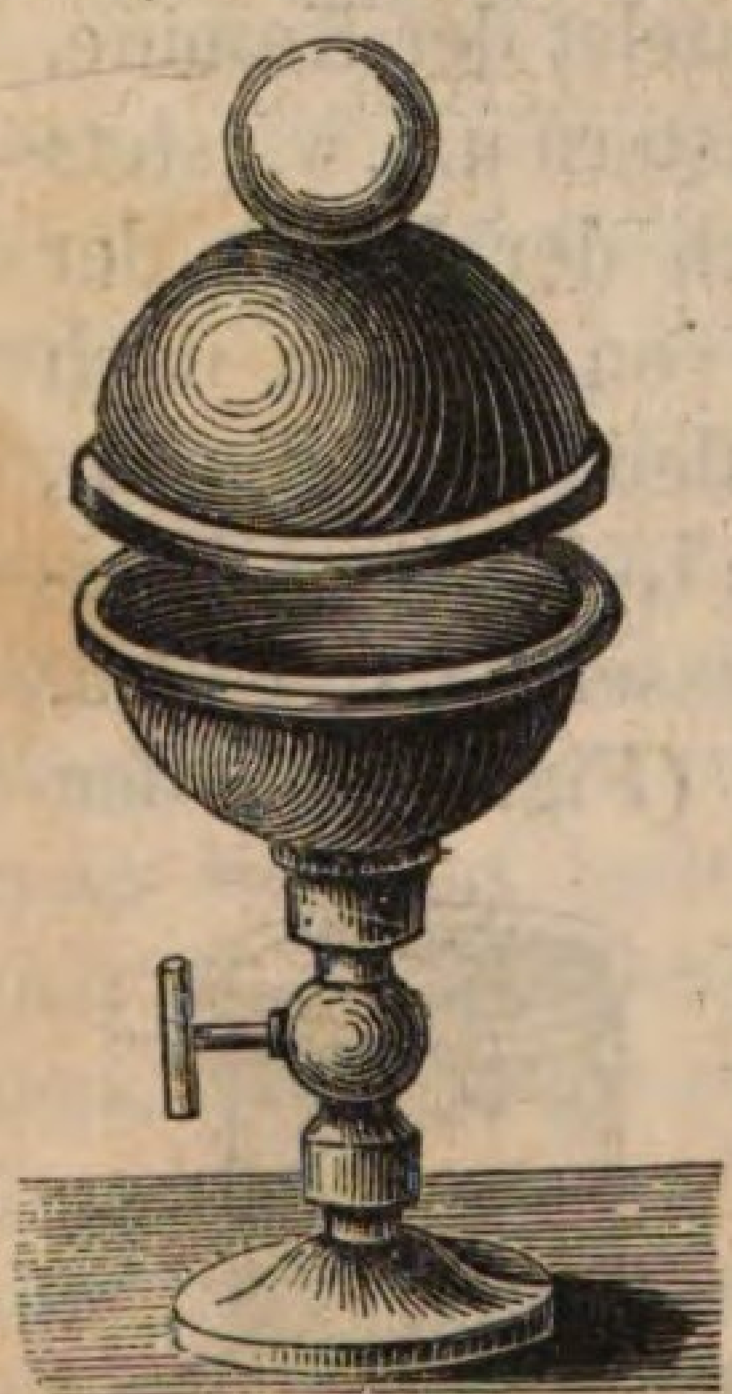


Fig. 362.

nachdem sie vorher eben war, wölbt sie sich jetzt nach innen zu einer concaven Fläche. Bevor man den Cylinder auf die Luftpumpe gestellt hatte, wurde die Thierblase auf ihren beiden Seiten von der atmosphärischen Luft, welche in ungehinderter Verbindung mit diesen Seiten stand, mit gleicher Stärke gedrückt. Aber wenn man einen Theil der Luft aus dem Innern des Cylinders entfernt, so übt die rückständige Luft keinen so grossen Druck mehr gegen die untere Fläche der Blase aus, und der auf die obere Seite stattfindende Druck wird daher nicht mehr im Gleichgewicht gehalten: die Blase wölbt sich in Folge dessen nach unten. Dieser einseitige Druck, welcher von oben nach unten auf die Blase ausgeübt wird, nähert sich in dem Maasse, als das Innere des Cylinders luftleer wird, mehr und mehr dem Gewichte der Luftsäule, welche die Oeffnung des Cylinders als Basis hat und sich bis zur Grenze der Atmosphäre erhebt. Wenn auf diese Weise die Blase in Folge des bedeutenden Gewichtes, welches sie zu tragen hat, stark angespannt ist, so darf man sie nur leicht mit einem festen Körper berühren, um sie zerspringen zu machen. Dabei hört man einen Knall, der durch das plötzliche Einströmen der Luft in den luftverdünnten Raum hervorgebracht wird.

Ein anderer Versuch besteht darin, dass man die zuvor gut abgeschliffenen Ränder zweier hohler Halbkugeln von Messing (Fig. 363) in innige Berührung mit einander bringt, sodass sie luftdicht aneinander anschliessen, und hierauf die Luft aus dem Innern der so gebildeten Hohlkugel fortschafft. Zu diesem Zweck ist eine der beiden Halbkugeln durchbohrt und der dadurch gebildete Kanal an seinem äusseren Ende mit einem Schraubengewinde versehen, mittelst dessen die Halbkugel in der Mitte des Tellers einer Luftpumpe befestigt werden kann. Nachdem hierauf die andere auf die eben beschriebene Weise in Verbindung mit ihr gebracht ist, setzt man die Luftpumpe in Thätigkeit und schafft dadurch die Luft aus dem Innern der beiden Halbkugeln durch den Kanal hindurch fort; wenn man glaubt, dass die Verdünnung der Luft weit genug fortgeschritten ist, schliesst man den Hahn an diesem Kanal, um zu verhindern, dass die Luft wieder eintritt, wenn man die Halbkugeln von dem Teller abschraubt. Wenn man nun diese Halbkugeln zu trennen sucht, so bemerkt man sofort, dass sich dieser Trennung ein grosser Widerstand entgegensetzt; sie sind wie zusammenge-


Fig. 363.

leimt, und man kann sie nur durch Anwendung einer bedeutenden Kraft wieder von einander entfernen. Bevor man sie luftleer gemacht hatte, wurde jede der beiden Halbkugeln ebenso stark von innen als von aussen von der atmosphärischen Luft gedrückt. Aber nachdem man die Luft aus ihrem Innern wenigstens grösstentheils entfernt hat, ist der von innen nach aussen ausgeübte Druck gleichfalls fast ganz verschwunden; der von aussen nach innen ausgeübte Druck kann also fast seine volle Wirkung ausüben; die Folge davon ist, dass die beiden Halbkugeln stark aneinander angedrückt werden und nur getrennt werden können, indem man an jeder derselben eine Zugkraft anbringt, die im Stande ist, jenen Druck zu überwinden. Dieser Versuch wurde zuerst von Otto von Guericke, Bürgermeister von Magdeburg, dem Erfinder der Luftpumpe angestellt, und aus diesem Grunde haben die beiden beschriebenen Halbkugeln den Namen Magdeburger Halbkugeln erhalten.

Wir wollen endlich noch ein drittes Experiment angeben, das Jedermann mit der grössten Leichtigkeit wiederholen kann. Man nimmt ein Trinkglass und füllt dasselbe bis ganz oben an mit Wasser; hierauf bedeckt man seine Oeffnung mit einem Blatt Papier und kehrt es um, wobei man das Blatt mit der flachen Hand an die Ränder des Glases angedrückt hält, um zu verhindern, dass es durch die Bewegung herabfällt. Wenn das Glas umgekehrt und das Blatt Papier in eine horizontale Lage gekommen ist, so zieht man die Hand, mit welcher man es gehalten hat, zurück; man sieht dann, dass die Flüssigkeit nicht ausfliesst (Fig. 364); das Blatt Papier bleibt an dem Rand des Glases hängen, als wenn es daran geleimt wäre. Es ist klar, dass das Wasser durch den Druck der Luft, welcher von unten nach oben auf die untere Seite des Blattes wirkt, gehalten wird. Mit einiger Vorsicht gelingt es sogar, dieses Blatt horizontal von der Mündung des Glases wegzuziehen, ohne dass das Wasser ausfliesst. Aber während des Umkehrens muss man sich des Blattes Papier bedienen, wenn der Versuch gelingen soll, weil sich sonst die Oberfläche des Wassers gegen den Rand des Glases neigt und auf der unteren Seite desselben herausfliesst, während die Luft an der oberen eindringt.



Fig. 364.

§. 261. **Das Barometer.** — Eine Glasglocke werde in eine mit Wasser gefüllte

Wanne gebracht, sodass sie sich, indem sie zur Seite geneigt wird, vollständig mit Wasser füllt und keine Luft in ihrem Innern zurückbleibt; wenn man hierauf diese Glocke wieder theilweise aus dem Wasser herauszieht und sie dabei in solcher Lage hält, dass ihre Oeffnung, stets nach unten gekehrt, unter der Oberfläche des Wassers in der Wanne bleibt (Fig. 365), so wird man sehen, dass auch in dieser neuen Lage die Glocke vollständig mit Wasser gefüllt bleibt. Die alten Physiker, welche in dieser Erscheinung einen Widerspruch gegen die Gesetze des Gleichgewichts einer Flüssigkeit in communicirenden Gefässen sahen, suchten dieselbe zu erklären, indem sie der Natur einen Abscheu vor dem leeren Raum (horror vacui) zuschrieben. In der That sieht man, dass in dem Theil der Glocke, welcher sich über die Oberfläche des Wassers der Wanne erhebt, ein luftleerer Raum entstehen müsste, wenn sich das Wasser in demselben bis zur Höhe dieser Oberfläche herabsenken würde, da nirgends die Luft in diesen Raum eindringen kann.



Fig. 365.

Wir wissen, dass es der Druck der atmosphärischen Luft, ausgeübt auf die Oberfläche des Wassers in der Wanne ist, der es verhindert, dass das Wasser in der Glocke herabfällt und sich in gleiche Höhe mit dem in der Wanne stellt. Wenn dieser Druck auf die Oberfläche des Wassers in der Wanne nicht vorhanden wäre, so müsste nach dem Gesetze der communicirenden Gefässe das Niveau innerhalb und ausserhalb der Glocke das nämliche sein; aber der Druck der atmosphärischen Luft, welcher in diesem Falle einseitig, nur auf die Oberfläche des Wassers in der Wanne, nicht aber auf die des Wassers in der Glocke wirkt, zwingt die Flüssigkeit in der Glocke über das Niveau emporzusteigen, in welchem sie ohne dieses stehen würde.

Man begreift indessen, dass der Druck der atmosphärischen Luft das Wasser nicht bis zu jeder beliebigen Höhe erheben kann. Wenn die Glocke sehr hoch wäre, so würde sich das Wasser nicht in ihrer ganzen Höhe in ihr halten können; es würde sich nur so hoch stellen, dass der Unterschied der Höhe der Spiegel in der Glocke und in der Wanne dem Druck entsprechen würde, der diesen Unterschied verursacht. Wenn anstatt Wasser eine andere, dichtere

Flüssigkeit genommen wird, so muss der Höhenunterschied der beiden Oberflächen, welcher durch die Wirkung des äusseren Druckes hervorgebracht wird, kleiner werden, und zwar um so kleiner, je grösser die Dichtigkeit der Flüssigkeit ist. Dieses Resultat kann mittelst Quecksilber leicht nachgewiesen werden. Zu diesem Behufe nimmt man eine gerade Glasröhre, die an einem Ende geschlossen ist und eine Länge von ungefähr 90 Centimeter hat; diese Röhre füllt man vollständig mit Quecksilber, verschliesst hierauf ihr offenes Ende mit dem Finger und kehrt sie um, indem man zugleich dieses Ende unter die Oberfläche des Quecksilbers bringt, das in einem Gefäss enthalten ist. Wenn man hierauf den Finger von der Oeffnung der Röhre entfernt und dieselbe vertikal hält, sodass sie sich zu ihrem grössten Theil über das Quecksilber im Gefässe erhebt, so sieht man, dass die Röhre nicht vollständig mit Quecksilber gefüllt bleibt; das Quecksilber senkt sich herab, indem es einen leeren Raum über sich zurücklässt, und bleibt in solcher Höhe stehen, dass der Unterschied der Höhen der beiden Spiegel in der Röhre und im Gefäss ungefähr 76 Centimeter beträgt (Fig. 366).

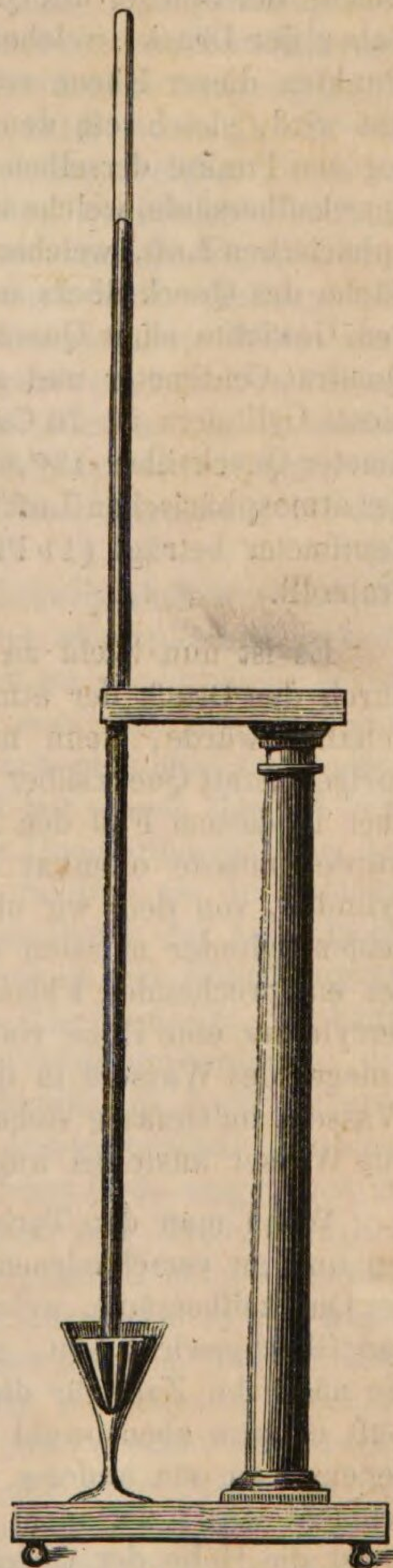


Fig. 366.

§. 262. Das oben beschriebene Experiment, welches zum erstenmal von Toricelli im Jahre 1643 gemacht wurde und desshalb kurz der Toricelli'sche Versuch heisst, führt uns nun dazu, die Grösse des Druckes der atmosphärischen Luft in Zahlen ausdrücken zu können. Das Quecksilber im Gefäss und in der Röhre befindet sich im Gleichgewicht; wenn man sich daher durch das Quecksilber im Gefäss eine Horizontalebene so gelegt denkt, dass sie auch das Stück der Röhre, welches in das Gefäss hereinragt, noch trifft, so müssen die Drückungen in allen Punkten dieser Ebene, gleichviel, ob sie innerhalb oder ausser-

halb der Röhre genommen werden, gleichgross sein. Diess gilt auch noch, wenn als solche Horizontalebene diejenige genommen wird, welche der Spiegel des Quecksilbers im Gefäss bildet, und es muss daher der Druck, welcher in den ausserhalb der Röhre gelegenen Punkten dieser Ebene von Seite der atmosphärischen Luft ausgeübt wird, gleich sein dem Druck auf die im Innern der Röhre gelegenen Punkte derselben Horizontalebene, ausgeübt von Seite der Quecksilbersäule, welche in dieser Röhre steht. Der Druck der atmosphärischen Luft, welcher auf 1 Quadrat-Centimeter der freien Oberfläche des Quecksilbers im Gefäss ausgeübt wird, ist also gleich dem Gewichte eines Quecksilbercylinders, welcher als Basis einen Quadrat-Centimeter und als Höhe 76 Centimeter hat. Das Volumen dieses Cylinders ist 76 Cubik-Centimeter, und weil der Cubik-Centimeter Quecksilber $13^{gr},6$ wiegt, so folgt daraus, dass der Druck der atmosphärischen Luft 1033 Gramm oder $1^{k},033$ auf den Quadrat-Centimeter beträgt (11 Pfund bayerisch auf den bayerischen Quadratzoll).

Es ist nun leicht zu berechnen, bis zu welcher Höhe Wasser durch den Druck der atmosphärischen Luft in der Röhre erhoben gehalten würde, wenn man in einem ähnlichen Versuch wie der vorige anstatt Quecksilber Wasser nähme. Der Wassercylinder, welcher in diesem Fall den Druck der atmosphärischen Luft messen würde, müsste offenbar ebenso viel wiegen als der Quecksilbercylinder, von dem wir oben gesprochen haben; die Höhen dieser beiden Cylinder müssten sich also umgekehrt wie die Dichtigkeiten der entsprechenden Flüssigkeiten verhalten, woraus für den Wassercylinder eine Höhe von $0^{m},76 \times 13,6$ gleich $10^{m},33$ folgt. Der Spiegel des Wassers in der Röhre würde also $10^{m},33$ über dem des Wassers im Gefässe stehen, wenn man den Toricelli'schen Versuch mit Wasser anstellen würde.

Wenn man den Toricelli'schen Versuch zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten wiederholt und jedesmal die Höhe der Quecksilbersäule, welche dem Drucke der atmosphärischen Luft das Gleichgewicht hält, genau misst, so findet man nicht immer die nämliche Zahl für dieselbe. Der Druck der atmosphärischen Luft ist also ebensowohl zu verschiedenen Zeiten als an verschiedenen Orten ein anderer. Wenn aber der Versuch an einem Ort gemacht wird, der nicht hoch über der Meeresfläche gelegen ist, so ist die Höhe der Quecksilbersäule von $0^{m},76$ niemals sehr verschieden. Gewöhnlich wird diese Höhe von $0^{m},76$ als Normalhöhe, entsprechend dem Normaldrucke der atmosphärischen Luft, genom-

men, und mit ihr vergleicht man dann die anderen Höhen, um eine Vorstellung von den Variationen des Luftdruckes zu erhalten.

Allemal, wenn ein Gas gegen die Wände, mit denen es in Berührung ist, einen Druck gleich dem einer Quecksilbersäule von $0^m,76$ Höhe ausübt, so sagt man, dass dieser Druck eine Atmosphäre betrage. In gleicher Weise versteht man unter einem Druck von zwei, drei, vier . . . Atmosphären einen solchen, welcher gleich ist dem Drucke, den eine Quecksilbersäule von zwei-, drei-, viermal $0^m,76$ Höhe hervorbringen würde. Das Wort Atmosphäre wird also in diesem Falle angewendet, um einen Druck zu bezeichnen, mit dem andere verglichen werden, und welcher auf diese Weise eine specielle Einheit bildet, mittelst welcher irgend ein Druck in Zahlen ausgedrückt werden kann. Man muss dabei stets im Auge behalten, dass ein Druck von einer Atmosphäre gleich ist dem Drucke von $1^k,033$ auf den Quadrat-Centimeter (11 Pfund bayerisch auf den bayerisichen Quadratzoll).

§. 263. Es würde aber mit grossen Schwierigkeiten verknüpft sein, jedesmal, wenn man den Druck der atmosphärischen Luft messen wollte, den Toricelli'schen Versuch zu wiederholen; es ist diess aber auch gar nicht nöthig. Wenn man sich das Gefäss und die Röhre in Fig. 366 unveränderlich mit einander verbunden, etwa beide auf einem Brett befestigt und mit einem Masstab versehen denkt, der es erlaubt, die Höhe der Quecksilbersäule in der Röhre messen zu können, so erhält man dadurch ein Instrument, mit welchem man in jedem Augenblick den Druck der Luft durch Beobachtung der Höhe der Quecksilbersäule in der Röhre messen kann. Ein solches Instrument heisst ein Barometer. Es kann natürlich in den verschiedensten Gestalten hergestellt werden, die aber alle auf das nämliche Prinzip zurückkommen. So erhält man auch ein Barometer, wenn man eine, an dem einen Ende geschlossene Glasröhre nimmt, deren anderes, offenes Ende umgebogen ist (Fig. 367). Diese Röhre füllt man auf irgend eine Weise, natürlich mit dem verschlossenen Ende nach unten gekehrt, mit Quecksilber und kehrt sie hierauf um, um sie in die Lage, wie es die Figur zeigt, das geschlossene Ende nach oben, zu bringen. Sobald diess geschehen ist, sieht man das Quecksilber im längeren Schenkel fallen, und zwar so weit, bis das Gleichgewicht zwischen dem Drucke der atmosphärischen Luft, welcher auf die freie Oberfläche des Quecksilbers im offenen Schenkel ausgeübt wird, und dem Drucke, welchen die Quecksilbersäule in dem längeren geschlossenen Schenkel hervorbringt, hergestellt ist. Ein solches Barometer (Fig. 367) wird wegen der Form, welche seine Röhre an ihrem untern, ge-

krümmten Theil hat, Heberbarometer genannt, wogegen das, welches mit dem in Fig. 366 abgebildeten Apparat Aehnlichkeit zeigt, Gefässbarometer heisst.


Fig. 367.

Die Aenderungen, welche der Unterschied der Höhen der beiden freien Oberflächen des Quecksilbers in einem Barometer erfährt, rühren allemal von einer Bewegung der beiden Spiegel zugleich her. Wenn sich dieser Unterschied in der Höhe der beiden Spiegel, welchen man kürzer die Höhe des Barometerstandes, oder auch wohl den Barometerstand selbst nennt, vergrössert, so steigt das Quecksilber in der Röhre und fällt in dem Gefäss oder in dem kurzen, offenen Arm, welcher dieses letztere beim Heberbarometer ersetzt, und der gewöhnlich auch kurz Gefäss genannt wird. Wenn dagegen die Höhe des Barometerstandes kleiner wird, so fällt das Quecksilber in der Röhre, während es im Gefäss steigt. Die Summe der beiden Aenderungen, welche auf diese Weise stets im entgegengesetzten Sinne die beiden freien Oberflächen des Quecksilbers erfahren, ist offenbar gleich der Grösse, um welche sich die Höhe des Barometerstandes vergrössert oder vermindert hat; aber diese Bewegungen der Spiegel können sehr verschieden von einander sein, je nach dem Verhältniss der Grösse der beiden Quecksilber-Oberflächen in der Röhre und im Gefäss. Setzen wir voraus, dass die Barometerröhre in der Gegend, wo sich das obere Ende der Quecksilbersäule befindet, nur eine geringe Weite habe, dass das Gefäss dagegen der freien Oberfläche des Quecksilbers, welches in ihm enthalten ist, gestattet, eine grosse Ausdehnung anzunehmen, so ist klar, dass ein Sinken des Quecksilbers in der Röhre nur ein sehr unbedeutendes Steigen der Oberfläche im Gefäss hervorrufen wird. Wenn dagegen die beiden freien Oberflächen in der Röhre und im Gefäss gleiche Ausdehnung haben, so wird die eine allemal um ebenso viel sinken, als die andere steigt. Wenn endlich die freie Oberfläche in der Röhre viel grösser als die im Gefäss wäre, so würde ein Sinken des Quecksilberspiegels in der Röhre ein viel grösseres Steigen desjenigen im Gefäss veranlassen. Es folgt aus dem Vorhergehenden, dass bei jedem Barometer, mit welchem der Barometerstand genau ermittelt werden soll, die Einrichtung so getroffen werden muss, dass man vor jeder Messung den Nullpunkt des Masstabes mit dem Spiegel des Quecksilbers im Gefäss zusammenfallen machen kann. Diess kann entweder geschehen, indem man den Masstab selbst verschiebbar macht, oder auch indem man ein Mittel anbringt, das wir später (§. 265) kennen lernen

werden, und welches gestattet, den Spiegel im Gefäss beliebig heben oder senken zu können. Nur bei solchen Barometern, bei denen die Grösse des Spiegels im Gefäss sehr bedeutend die der Oberfläche des Quecksilbers in der Röhre übertrifft, kann von einer solchen Aenderung des Nullpunkts der Scala oder des Spiegels im Gefäss vor jeder Messung abgesehen werden.

Die Variationen, welche die Höhe des Barometerstandes erfährt, stehen unleugbar in einem gewissen Zusammenhang mit dem Wechsel des Wetters. Man benützt desshalb das Barometer vielfach als Instrument, welches anzeigen soll, ob die Witterung gut oder schlecht werden wird. In diesem Falle wendet man gewöhnlich eine Art Heberbarometer an, gibt aber dem kürzeren, offenen Arm desselben, welcher die Rolle des Gefässes spielt, einen bedeutend grösseren Durchmesser, als der Röhre; am häufigsten erhält dieses Gefäss eine birnförmige Gestalt, woher ein solches Barometer auch Birnbarometer heisst (Fig. 368). Auf diese Art werden dann die Aenderungen des Quecksilberspiegels im Gefäss, welche bei einer Aenderung des Barometerstandes eintreten, so klein, dass sie vernachlässigt werden können, und der Quecksilberspiegel in der Röhre kann also gleichsam als Zeiger an dem Maasstabe oder auch an der Witterungsscala dienen, die man neben der Barometerröhre angebracht hat. Aber man muss nie vergessen, dass die Witterung noch durch gar viele andere Faktoren, ausser dem Luftdruck, bestimmt wird, und dass schon aus diesem Grunde kein bestimmter unabänderlicher Zusammenhang zwischen dem Barometerstand und dem jeweilig vorhandenen oder gar erst zu erwartenden Wetter bestehen kann. Wissenschaftlich kann das Barometer nur zur Bestimmung des Luftdruckes gebraucht werden, und es geschieht diess, indem man die Höhe des Barometerstandes mittelst eines Masstabes misst und in Zahlen ausdrückt.

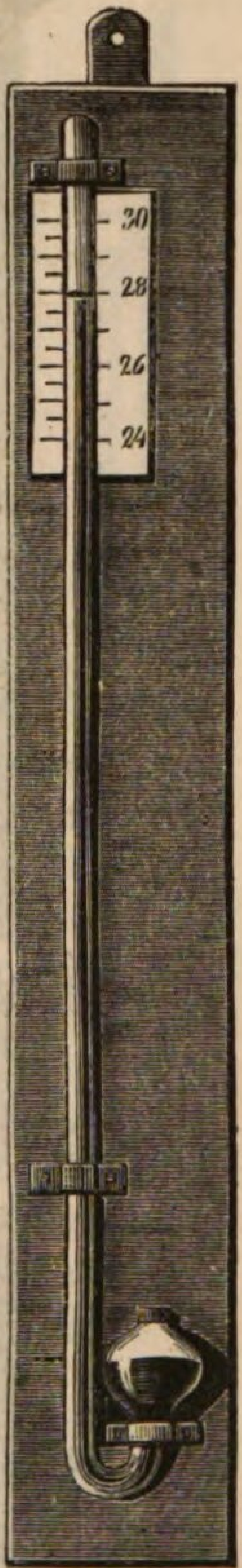


Fig. 368.

Die Aenderungen des Barometerstandes sind innerhalb kleiner Zeiträume meist nur sehr gering und nur durch genauere Messungen merkbar. Um sie deutlicher bemerklich zu machen, hat man verschiedene Mittel erdacht, zu denen auch die Einrichtung des sogenannten Radbarometers gehört (Fig. 369 und 370). Eine

Rolle mit doppeltem Hals ist an einer kleinen Axe befestigt, um welche sie sehr leicht drehbar ist. Um die beiden Hälse dieser Rolle schlingen sich in entgegengesetzter Richtung zwei dünne Schnüre, die mit ihren einen Enden an der Rolle festgemacht sind, während an den andern zwei kleine Elfenbeincylinder hängen, welche die von der Rolle vertikal abwärts gehenden Schnurtheile gespannt halten. Der eine von diesen beiden Cylindern, der etwas schwerer als der andere ist, befindet sich innerhalb des kürzeren offenen Schenkels des Heberbarometers und ruht auf der Oberfläche des Quecksilbers auf, von welchem er getragen wird. Wenn sich das Quecksilber in dem kleinen Schenkel in Folge eines Steigens des Barometerstandes senkt, so wird der kleine Elfenbeincylinder, welcher sich innerhalb dieses Arms befindet, nicht mehr von der Flüssigkeit unterstützt und senkt sich folglich gleichfalls, indem er die Rolle dreht. Wenn dagegen das Quecksilber in dem kurzen Schenkel steigt, so erhebt sich auch der Elfenbeincylinder in diesem Schenkel, während der andere fällt und dadurch die Rolle im entgegengesetzten Sinne dreht. An der Axe der Rolle ist ein Zeiger befestigt, der sich mit dieser Rolle dreht und auf diese Weise nach und nach über die verschiedenen Theilstriche zu stehen kommt, welche ein mit der Rolle concentrisch befestigtes Zifferblatt trägt. Je länger dieser Zeiger ist, desto auffallender werden offenbar die Aenderungen des Barometerstandes. Der Zeiger muss natürlich so construirt sein, dass sein Schwerpunkt auf der Axe der Rolle gelegen ist, damit sein Gewicht diese Axe nicht in dem einen Sinne mehr als in dem andern zu drehen sucht.

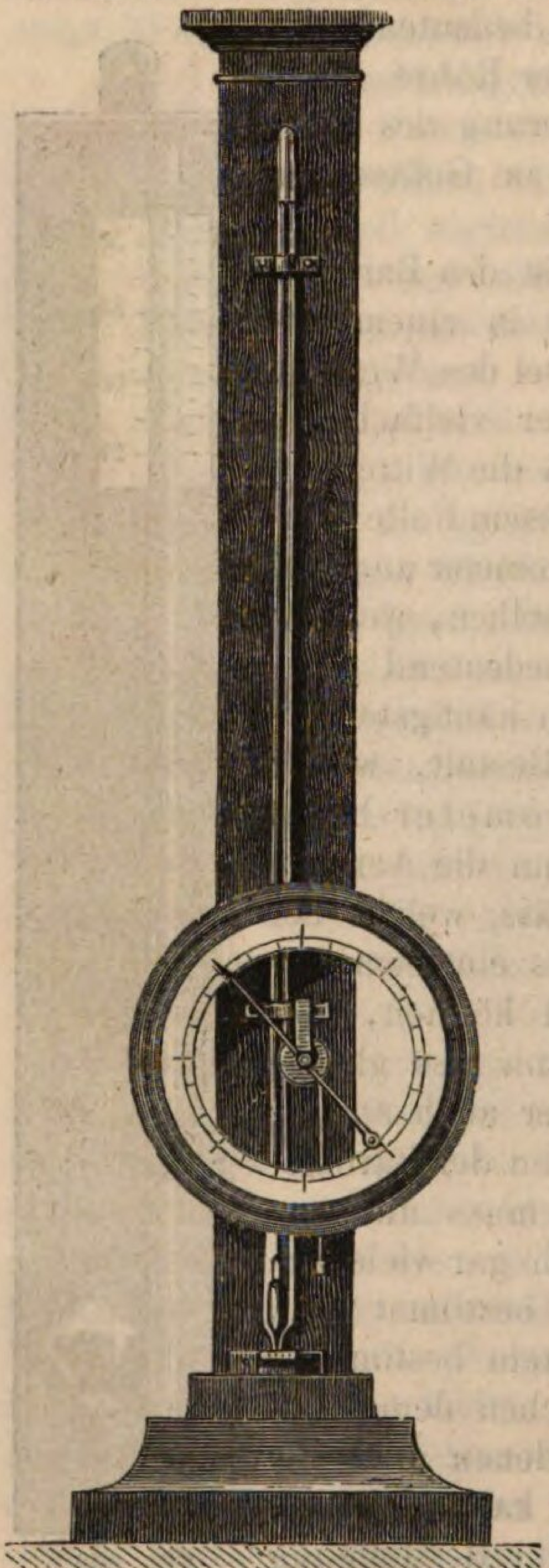
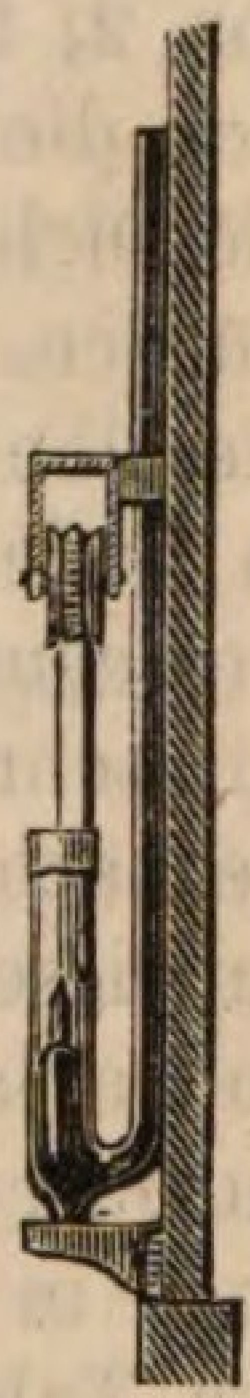


Fig. 369.

§. 264. Nach den allgemeinen Bemerkungen, welche wir oben über die Atmosphäre der Erde gemacht haben, ist es wohl klar, dass, wenn man ein Barometer von einem Punkt der Atmosphäre an einen höher gelegenen Punkt derselben bringt, die Höhe des Barometerstandes in Folge der Abnahme des Druckes kleiner werden muss. Dieses Experiment wurde zum erstenmal auf Anregung Pascal's im Jahre 1648 gemacht; es wurde ein Barometer von dem Fusse des Puy de Dôme auf dessen Gipfel gebracht und dabei eine Verminderung des Barometerstandes um 84 Millimeter beobachtet. Da die Verminderung der Höhe des Barometerstandes um so grösser sein muss, je grösser die Höhe ist, auf welche man sich mit dem Instrument erhebt, so ist begreiflich, dass durch Beobachtungen des Barometerstandes, welche man an verschiedenen Punkten anstellt, der Höhenabstand dieser Punkte bestimmt werden kann. Diess geschieht denn auch in der That; auf die Betrachtungen, welche wir oben angestellt haben, gründet sich das Messen der Höhe der Berge mit dem Barometer.


Fig. 370.

Bei gewöhnlicher Temperatur und bei einem Luftdruck, wie er am Niveau des Meeres stattfindet, ist die atmosphärische Luft ungefähr 770mal leichter als ein gleiches Volumen Wasser und folglich 10 472mal leichter als ein gleiches Volumen Quecksilber. Wenn man sich demnach um $10^m,472$ in vertikaler Richtung erhebt, so muss das Quecksilber im Barometer um eine 10 472mal so kleine Grösse, d. h. um einen Millimeter fallen. Eine vertikale Erhebung von blos 1^m hat also eine Verminderung der Höhe des Barometerstandes um ungefähr einen zehntel Millimeter zur Folge, eine Grösse, die noch messbar ist. Wenn die Luft überall, in jeder Höhe die nämliche Dichtigkeit besässe, so wäre nichts einfacher als den Höhenunterschied zwischen zwei beliebigen Punkten mittelst des Barometers zu messen: Vorausgesetzt, dass die Dichtigkeit der Luft überall die oben angegebene wäre, so hätte man nur die Zahl der Millimeter, um welche das Barometer, indem man von dem tiefer zu dem höher gelegenen der beiden Punkte emporsteigt, fällt, mit 10 472 zu multipliciren, um den Höhenabstand dieser Punkte in Millimetern zu erhalten. Aber dem ist nicht so. Die Dichtigkeit der Luft nimmt fortwährend ab, in dem Masse, als man sich in der Atmosphäre erhebt; um also die nämliche Verminderung des Barometerstandes zu erzielen, muss man sich um so mehr erheben, je höher man sich schon über der Meeresfläche befindet. Ein Sinken des Barometers um einen zehntel Millimeter, welches an der

Meeresfläche einer vertikalen Erhebung von ungefähr einem Meter entspricht, wird in grösserer Höhe bald erst durch eine Erhebung von 2, 3, 4 Meter hervorgebracht werden. Ausserdem ändert sich die Temperatur von einer Höhenschichte der Luft zur anderen; die Dichtigkeiten dieser Schichten sind also nicht die, welche sie sein würden, wenn die Temperatur überall in der ganzen Atmosphäre dieselbe wäre. Dazu kommen noch andere Umstände, welche die in Rede stehende Aufgabe zu einer sehr verwickelten machen. Dessenungeachtet ist es gelungen, Tabellen zu berechnen, welche auf sehr bequeme Weise den Höhenabstand zweier Punkte aus den Beobachtungen des Barometerstandes und der Temperatur, welche an diesen Punkten angestellt wurden, mit hinlänglicher Genauigkeit finden lassen. Solche Tabellen werden alljährlich in dem „Annuaire du Bureau des longitudes" publicirt, finden sich aber ausserdem noch in manchen anderen Werken und Zeitschriften, wie z. B. in den Tabulae Regiomontanae von Bessel, in Lamont's astronomischem Kalender für 1851 u. s. w.

§. 265. Um zu dem Zwecke, den wir eben bezeichnet haben, gebraucht werden zu können, muss das Barometer vor Allem der Bedingung genügen, dass es den Unterschied in der Höhe der beiden freien Oberflächen des Quecksilbers mit groser Genauigkeit bestimmen lässt; ausserdem soll es auch noch möglichst leicht und bequem transportirt werden können. Ein Barometer, welches diesen Bedingungen genügt, heisst man wohl auch ein Reisebarometer, und es können dieselben in verschiedenen Formen, als Gefäss- oder als Heberbarometer angefertigt werden. Wir geben im Folgenden eine Beschreibung des Barometers von Fortin.

Das Barometer kann an dem obersten Theil eines dreifüssigen Gestelles aufgehängt werden (Fig. 371), und man bringt es jedesmal in diese Lage, wenn man eine Beobachtung machen will. Wenn die drei Füsse des Gestells zusammengelegt werden, so lassen sie zwischen sich einen hohlen Raum, in welchem sich das Barometer während des Transportes befindet; das Stativ bildet auf diese Weise eine Art von Futteral, das dazu bestimmt ist, das Instrument auf der Reise zu schützen.

Das Fortin'sche Barometer ist, wie die Figuren 371 und 372 auf den ersten Blick zeigen, ein Gefässbarometer. Wir haben oben gesehen, dass, wenn der Spiegel des Quecksilbers in der Röhre steigt oder fällt, der des Quecksilbers im Gefäss zu gleicher Zeit fällt oder steigt; um also die Aenderungen in der Höhe des Barometerstandes genau zu erhalten, ist es nöthig, stets den Nullpunkt des Masstabes mit der freien Oberfläche des Quecksilbers im Ge-

fäss zusammenfallen machen zu können. Zu diesem Behufe ist bei dem in Rede stehenden Instrument der Boden des Gefässes beweglich gemacht. Derselbe wird nämlich von einer Art Beutel aus Handschuhleder gebildet, und in seiner Mitte endigt sich eine Schraube *a* (Fig. 372). Indem man diese Schraube in dem einen oder anderen Sinn dreht, kann man den beweglichen Boden und mit ihm also den Spiegel des Quecksilbers im Gefäss heben oder senken und es auf solche Weise leicht dahin bringen, dass dieser Spiegel mit dem Nullpunkt des Masstabes, welcher neben der Barometerröhre angebracht ist, zusammenfällt. Erst nachdem diess geschehen ist, gibt der Theilstrich des Masstabes, an welchem der Spiegel des Quecksilbers in der Röhre steht, die richtige Höhe des Barometerstandes an. Um die Einstellung des Spiegels im Gefäss auf den Nullpunkt der Scala zu erleichtern, wird dieser letztere von der Spitze eines Elfenbeinstiftes *b*, welcher von dem Deckel des Gefässes herabreicht, gebildet. Dieser Stift spiegelt sich in der Oberfläche des Quecksilbers, und diese muss so lange gehoben oder gesenkt werden, bis die Spitze des Stiftes selbst und die seines Spiegelbildes sich eben berühren, ohne dass die Reflexion des Lichtes an der Oberfläche des Quecksilbers die mindeste Gestaltsveränderung dieser Oberfläche, mit welcher die Spitze des Stiftes in Berührung ist, anzeigt.

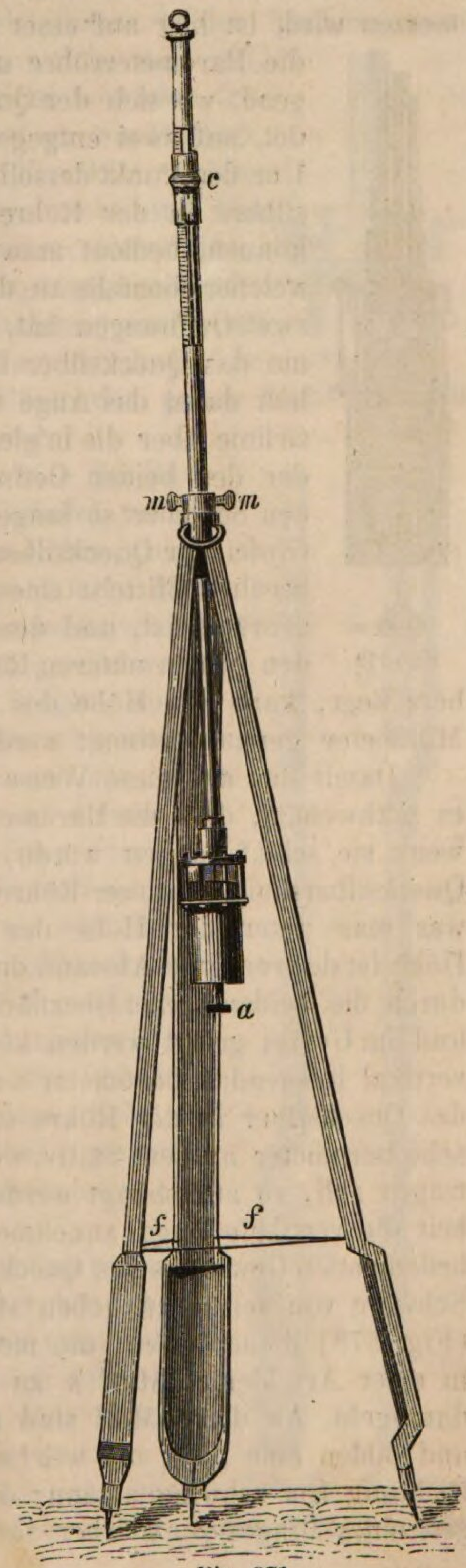


Fig. 371.

Die Scala, mittelst welcher die Höhe des Barometerstandes gemessen wird, ist hier auf einer Hülse von Metall angebracht, welche die Barometerröhre umschliesst, und welche in der Gegend, wo sich der Quecksilberspiegel in der Röhre befindet, auf zwei entgegengesetzten Seiten aufgeschlitzt ist. Um den Punkt derselben, welcher dem Spiegel des Quecksilbers in der Röhre entspricht, genau bestimmen zu können, bedient man sich eines Schiebers *c* (Fig. 371), welcher ebenfalls an den gerade entgegengesetzten Seiten zwei Oeffnungen hat, durch welche man hindurch sieht, um das Quecksilber in der Röhre zu beobachten. Man hält dabei das Auge stets in solcher Höhe, dass die Visirlinie über die in gleicher Höhe gelegenen unteren Ränder der beiden Oeffnungen hinweggeht, und verschiebt den Schieber so lange, bis diese Visirlinie den obersten Gipfel der Quecksilberkuppe (§. 251) in der Röhre eben berührt. Mittelst eines Nonius, der auf dem Schieber angebracht ist, und dessen Nullpunkt in gleicher Höhe mit den beiden unteren Rändern der Oeffnungen dieses Schiebers liegt, kann die Höhe des Barometerstandes bis auf zehntel Millimeter genau bestimmt werden.

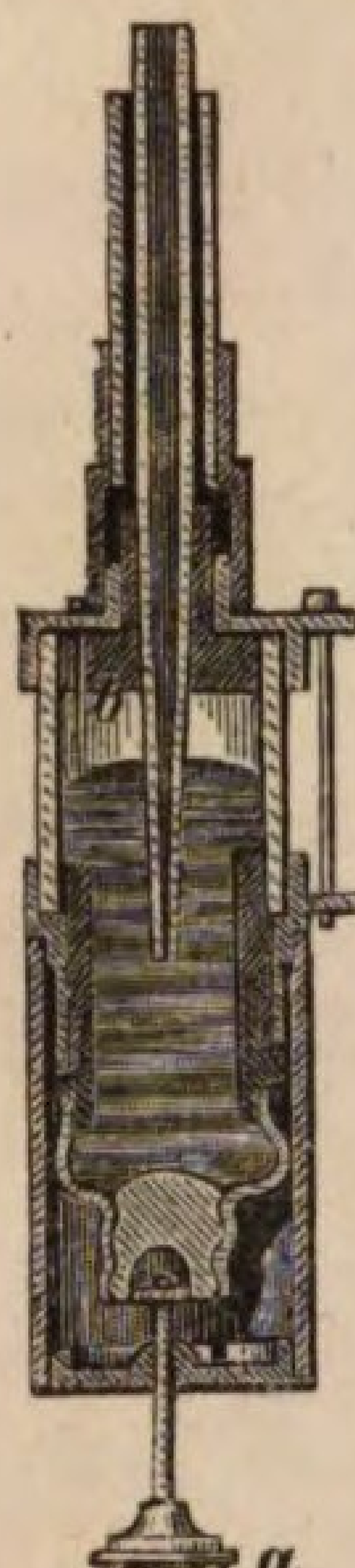


Fig. 372.

Damit das auf diese Weise erhaltene Resultat richtig sei, ist es nothwendig, dass die Barometerröhre genau vertikal hängt; denn wenn sie schief hängen würde, so würde die Länge, welche die Quecksilbersäule in dieser Röhre einnimmt, grösser sein, als Das, was man unter der Höhe des Barometerstandes versteht; diese Höhe ist der vertikale Abstand der beiden Horizontalebenen, welche durch die beiden freien Oberflächen des Quecksilbers in der Röhre und im Gefäss gelegt werden können. Uebrigens darf man nur ein vertikal hängendes Barometer neigen, um alsbald zu sehen, dass das Quecksilber in der Röhre steigt. Desshalb kann das Fortin'sche Barometer an dem Stativ, welches es während der Beobachtung tragen soll, so aufgehängt werden, dass es mit grösster Leichtigkeit die vertikale Lage annehmen kann, welche ihm in Folge des bedeutenden Gewichtes des Quecksilbers im Gefäss die Wirkung der Schwere von selbst zu geben sucht. Zwei kleine Schrauben *m,m* (Fig. 373) dienen dazu, die metallene Hülse des Barometerrohrs in einer Art kleiner Muff *n* zu befestigen, durch welche sie hindurchgeht. An dieser Muff sind zwei kleine Stiften *o,o* angebracht und bilden eine Axe, um welche das Barometer in einer gewissen Richtung frei schwingen kann; diese Stiften ruhen in zwei Oeffnungen eines Ringes *p*, welcher sich selbst wieder um zwei andere

kleine Stifte *q* frei drehen kann, welche eine zweite Axe, senkrecht auf die erste, bilden. Mittelst dieser beiden Aufhängeaxen kann dem Barometer jede Richtung, welche man will, gegeben werden; der Wirkung seines Gewichts frei überlassen, stellt es sich also vertikal wie ein Bleiloth. — Die kleinen Eisenstäbe *f*, *f* (Fig. 371), welche an den drei Füssen des Stativs angebracht sind und sie zu je zweien mit einander verbinden, dienen dazu, diese Füsse in unveränderlicher Lage gegeneinander zu halten, während man die Beobachtung macht, und auf diese Weise zu verhindern, dass durch ein zufälliges Anstossen an einen der Füsse das ganze Stativ und mit ihm das Barometer umgeworfen wird.

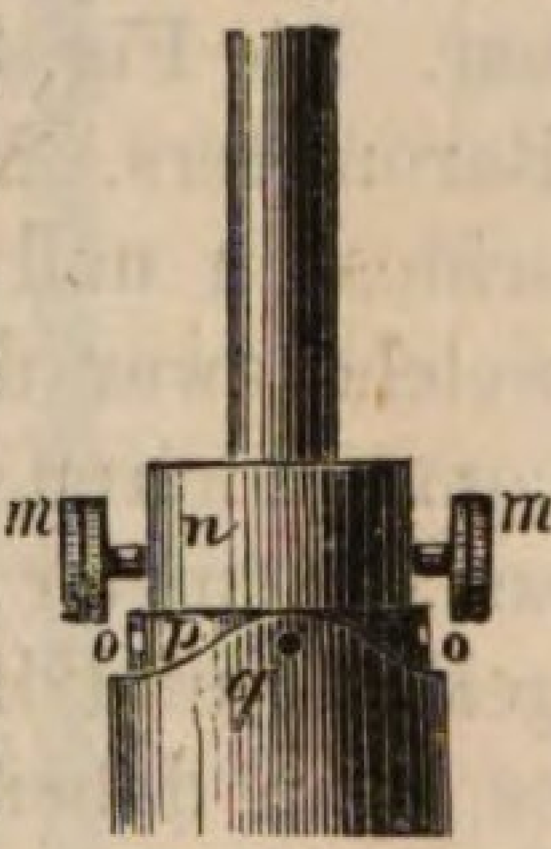


Fig 373.

In dem Zustande, in welchem sich das Barometer während einer Beobachtung befindet, wo also beide Quecksilberspiegel, der in der Röhre wie der im Gefäss frei sind, kann das Instrument nicht transportirt werden; diese Spiegel, namentlich der in der Röhre, würden dadurch so heftigen Schwankungen, selbst beim vorsichtigsten Tragen, ausgesetzt werden, dass die Röhre zertrümmert werden würde. Um das Fortin'sche Barometer zum Transport zuzurichten, wird das zu diesem Behufe zweckmässig eingerichtete Gefäss durch ein Pfröpfchen luftdicht verschlossen; hierauf schraubt man die Schraube *a* (Fig. 372) so weit in die Höhe, bis die durch das Steigen des Quecksilbers im Gefäss zusammengedrückte Luft, welche in diesem letzteren enthalten ist und nirgends entweichen kann, das Quecksilber in der Röhre bis an das oberste Ende derselben hinaufhebt und gegen dieses Ende sogar noch etwas andrückt. In diesem Zustande kann das Barometer ohne Gefahr transportirt werden.

Ein anderes Reisebarometer ist das von Gay-Lussac. Es ist ein Heberbarometer, bei welchem die beiden freien Oberflächen des Quecksilbers gleiche Ausdehnung haben und sich folglich zu gleicher Zeit um gleiche Grössen, aber in entgegengesetztem Sinne bewegen. Es ist also hier ganz besonders nöthig, die Aenderungen des Quecksilberspiegels in den beiden Schenkeln des Barometers in Betracht



Fig. 374.



Fig. 375.

zu ziehen, um die ganze Aenderung des Barometerstandes richtig zu erhalten. Zu diesem Behufe ist gewöhnlich die Scala verschiebbar. Die Fig. 374 zeigt die Gestalt der Röhre des Gay-Lussac'schen Barometers. Man sieht den kürzeren Schenkel desselben ganz verschlossen und nur mit einer engen Oeffnung *a* versehen, durch welche zwar die Luft ungehindert mit dem Innern dieses Schenkels communiciren, aber das Quecksilber nicht austreten kann. Um dieses Barometer nämlich transportiren zu können, muss es ganz umgekehrt und in die Lage gebracht werden, wie sie Fig. 375 zeigt; es kann dabei, wie man sieht, kein Quecksilber verloren gehen. Dieses Umkehren muss vorsichtig und langsam geschehen, weil sonst das Quecksilber in der Röhre so rasch steigt, dass es, am Ende derselben ankommend, dieses Ende hinausschlägt.

§. 266. **Das Mariotte'sche Gesetz.** — Wenn ein Gas zusammengedrückt wird, so vermehrt sich die Spannung desselben. Die Drückungen, welche es auf die verschiedenen Theile der Wand des Gefässes, in dem es eingeschlossen ist, ausübt, wachsen in dem Maasse, als sich sein Volumen vermindert. Der Zusammenhang, welcher zwischen dem Drucke und dem Volumen einer gewissen Gasmasse stattfindet, wurde zuerst von Mariotte erkannt und in folgendem Gesetz, das seinen Namen trägt, ausgesprochen: Die Spannung einer Gasmasse, deren Temperatur dieselbe bleibt, ändert sich im umgekehrten Verhältniss des Volumens, welches sie einnimmt. Wenn also ihr Volumen auf die Hälfte, das Drittel, Viertel verringert wird, so wird ihre Spannung zwei-, drei- viermal so gross. Die Bedingung, dass die Temperatur der Gasmasse, welche man betrachtet, dieselbe bleibt, ist wesentlich und darf nicht übersehen werden. Wenn man das Volumen einer Gasmasse plötzlich vermindert, so bemerkt man, dass ihre Temperatur steigt; im Gegentheil, wenn man einer Gasmasse gestattet sich rasch auszudehnen, so sinkt ihre Temperatur. Damit folglich die Spannungen, welche eine Gasmasse, deren Volumen man abändert, nach und nach annimmt, das Mariotte'sche Gesetz befriedigen, muss man diese Spannungen erst dann messen, nachdem das Gas Zeit gehabt hat, die Temperatur, welche es vorher besass, also für gewöhnlich die Temperatur seiner Umgebung, wieder anzunehmen.

Das Mariotte'sche Gesetz kann leicht auf folgende Art erwiesen werden: Man nimmt eine gebogene Röhre (Fig. 376), deren kürzerer Schenkel oben geschlossen ist, während ihr längerer Schenkel oben offen gelassen wurde. In den untersten Theil

dieser Röhre bringt man eine kleine Quantität Quecksilber, und zwar so, dass seine Oberflächen in beiden Schenkeln gleich hoch, in der Horizontalen *ab* stehen, was man durch zweckmässiges Neigen der Röhre leicht erreicht. Dann besitzt die Luftmasse, welche dadurch in dem kleinen Schenkel abgesperrt ist, dieselbe Spannung wie die äussere Luft; denn das Quecksilber könnte sich in der angegebenen Stellung nicht im Gleichgewicht halten, wenn nicht auf seine beiden freien Oberflächen gleichgrosse Drückungen ausgeübt würden. Wenn man hierauf Quecksilber in dem längeren Schenkel aufgiesst, so wird das Gleichgewicht gestört; das Quecksilber steigt in dem kürzeren Schenkel ebenfalls, aber da es die Luft, welche in diesem Schenkel enthalten ist, zusammendrücken muss, viel weniger als in dem langen. Es stellt sich also eine neue Gleichgewichtslage her; und da das Quecksilber in den Punkten, welche auf der Horizontalebene *cd*, die durch den untersten der beiden freien Quecksilberspiegel geht, gelegen sind, in beiden Schenkeln gleichstark gedrückt sein muss, so folgt, dass der Druck, welchen die Luft, die in dem kürzeren Schenkel eingeschlossen ist, ausübt, gleich ist dem Druck der äusseren Luft, welcher auf die freie Oberfläche im längeren Schenkel stattfindet, vermehrt um den Druck, welcher von der Quecksilbersäule herrührt, welche in diesem längeren Schenkel über der Horizontalebene *cd* steht. Wenn man das neue Volumen, welches von der Luftmasse, die in dem kürzeren Schenkel eingeschlossen ist, eingenommen wird, mit dem Volumen vergleicht, welches sie besass, als sie noch unter dem Drucke der atmosphärischen Luft stand, so findet man, dass diese beiden Volumen im umgekehrten Verhältniss zu den entsprechenden Drückungen stehen. Wenn z. B. das Quecksilber im kurzen Schenkel so weit gestiegen ist, dass die Luft in demselben nur noch die Hälfte des Raumes einnimmt, so ist die Differenz der Höhen der Quecksilberspiegel in den beiden Schenkeln gleich der Höhe des Barometerstandes; das Gas erleidet also einen [illegible]k, doppelt so gross, als der der atmosphärischen Luft is[illegible]s Volumen der Luft-

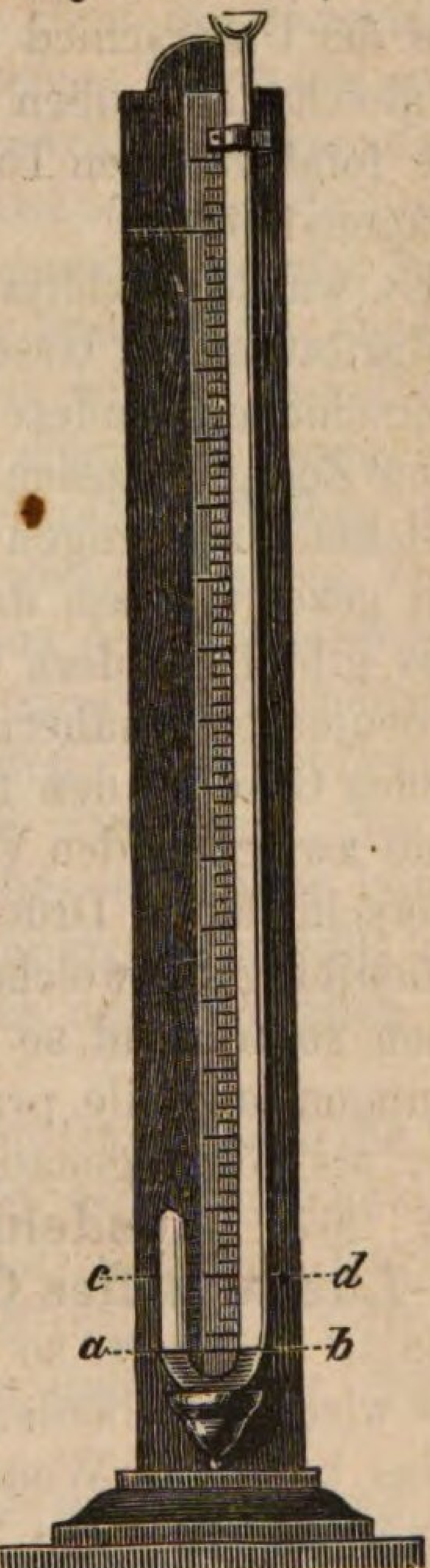


Fig. 376.

masse nur auf zwei Drittel des ursprünglichen reducirt wäre, so würde der Unterschied der Höhe des Quecksilbers in beiden Schenkeln gleich der halben Barometerhöhe gefunden werden; das Gas würde folglich einen Druck von ein und einer halben Atmosphäre zu tragen haben.

Es wurden zahlreiche Versuche gemacht, um die Richtigkeit des Mariotte'schen Gesetzes für atmosphärische Luft sowohl, wie für verschiedene andere Gase nachzuweisen. Die neuesten und zu gleicher Zeit genauesten sind die von Regnault. Diese Experimente, in welchen Drückungen bis zu 28 Atmosphären angewandt wurden, haben gezeigt, dass das Mariotte'sche Gesetz nicht streng richtig ist. Es gibt besonders ungenaue Resultate für Drückungen, welche sich denjenigen nähern, bei welchen die dem Experiment unterworfenen Gase in den flüssigen Zustand übergehen. Aber die Unterschiede zwischen den Volumen, welche ein und dieselbe Gasmasse, die verschiedenen Drückungen unterworfen ist, wirklich annimmt, und denjenigen, welche sie nach dem Mariotte'schen Gesetz annehmen sollte, sind so klein, dass man dieses Gesetz in allen Anwendungen auf die praktische Mechanik ohne bemerkenswerthen Fehler als völlig genau annehmen darf.

§. 267. **Ausdehnung der Gase durch die Wärme; Gay-Lussac'sches Gesetz.** — Wenn man die Temperatur einer Gasmasse abändert, so ist die Wirkung, welche dadurch hervorgebracht wird, verschieden, je nach den Umständen, unter denen sich das Gas befindet. Wenn es sein Volumen ungehindert vermehren oder vermindern kann, ohne dass der Druck, welchen es von Seite der Wände des Gefässes, in dem es eingeschlossen ist, erleidet, geändert wird, so dehnt es sich bei Erhöhung der Temperatur aus und zieht sich bei Verminderung derselben zusammen; die Aenderungen der Temperatur veranlassen eine Aenderung des Volumens, ohne dass die Spannung des Gases eine andere wird. Wenn dagegen das Gas in einem Gefäss eingeschlossen ist, das ihm nicht gestattet, ein anderes Volumen einzunehmen, so wird durch Erhöhung der Temperatur seine Spannung vergrössert, durch Erniedrigung derselben dagegen vermindert.

Dieses zweite Resultat ist nur eine Folge des ersten. Wenn die Temperatur einer Gasmasse erhöht wird, ohne dass sich ihr Volumen ändern kann, so kann man sich auch vorstellen, dass sie zunächst durch die Wirkung der Wärme ausgedehnt würde, ohne dass ihre Spannkraft eine andere wird, und dass man sie hierauf unter Beibehaltung [illegible] Temperatur, welche ihr gegeben worden ist, auf ihr u[illegible] Volumen zurückführt, wodurch offen-

bar eine Erhöhung ihrer Spannkraft eintreten muss. Das Mariotte'sche Gesetz sagt uns, dass bei diesem letzten Theil des Vorgangs die Spannkraft des Gases in dem Verhältniss seines Volumens zu dem Volumen, welches es vor dieser Zusammendrückung angenommen hatte, zunimmt, d. h. also in dem Verhältniss seines ursprünglichen Volumens zu dem Volumen, welches es annehmen würde, wenn es sich ungehindert, ohne Aenderung seiner Spannkraft ausdehnen könnte. Wenn man sich also vorstellt, dass ein und dieselbe Temperaturerhöhung eine Gasmasse in dem einen Fall ungehindert ausdehnen kann, ohne dass sie die Spannkraft derselben ändert, während sie in dem anderen Fall bei unveränderlichem Volumen die Spannung des Gases erhöht, so folgt aus dem Vorhergehenden, dass die Volumen in dem ersten Fall in demselben Verhältniss zunehmen, wie die Spannkräfte in dem zweiten. Wenn in dem ersten Fall das Volumen des Gases um die Hälfte, das Drittel, das Viertel desjenigen zunehmen würde, welches es vorher hatte, so würde sich in dem zweiten Fall die Spannkraft ebenfalls um die Hälfte, das Drittel, das Viertel ihrer ursprünglichen Grösse vermehren.

Indem Gay-Lussac die Ausdehnung der Gase durch die Wärme unter constantem Druck näher untersuchte, fand er, dass diese Ausdehnung bei der nämlichen Aenderung der Temperatur für alle Gase die nämliche ist, also von ihrer Natur nicht abhängt. Man nannte diesen Satz das Gay-Lussac'sche Gesetz.

In neuester Zeit machte Regnault sehr zahlreiche und genaue Versuche über die Ausdehnung der Gase und erkannte, dass das Gay-Lussac'she Gesetz nicht streng richtig ist: Es dehnen sich bei gleicher Temperaturerhöhung nicht alle Gase um die nämliche Grösse aus. Aber wir können für das Gay-Lussac'sche Gesetz wiederholen, was wir für das Mariotte'sche Gesetz gesagt haben: für die Anwendung auf die practische Mechanik können wir es als völlig genau betrachten, ohne einen bemerkenswerthen Fehler dadurch zu begehen.

Nach Regnault's Versuchen nimmt das Volumen einer Gasmasse, welche eine constante Spannung behält, für jeden Grad des Celsius'schen Thermometers um $\frac{11}{3000}$ desjenigen Volumens zu, das sie bei 0° oder der Temperatur des schmelzenden Eises hatte. In Folge Dessen, was so eben gesagt wurde, nehmen wir dieses Resultat als für alle Gase gültig an. Wenn also z. B. das betrachtete Gas bei der Temperatur 0° ein Volumen von 3000 Liter hat, so wird bei der Temperatur 1° sein Volumen 3011 Liter, bei der

Temperatur 2° 3022 Liter, bei der Temperatur 10° 3110 Liter, bei der Temperatur 100° 4100 Liter u. s. f. betragen. Daraus folgt alsbald, dass die Spannkraft eines Gases, das sein Volumen nicht ändern kann, für jede Temperaturerhöhung von 1° C. um $\frac{11}{3000}$ der Spannkraft wächst, die es bei 0° C. hatte.

§. 268. **Einfluss des Druckes der atmosphärischen Luft auf die Resultate für das Gleichgewicht der Flüssigkeiten.** — Bei allem Dem, was wir oben (§§. 236—253) für Flüssigkeiten, welche durch freie Oberflächen begrenzt sind, gesagt haben, wurde vorausgesetzt, dass auf diese Oberflächen keinerlei Druck ausgeübt wird. Die Resultate, zu welchen wir dabei gelangten, sind also nicht unmittelbar für Flüssigkeiten, wie sie sich uns gewöhnlich darbieten, anwendbar, weil die freien Oberflächen dieser Flüssigkeiten gewöhnlich dem Drucke der atmosphärischen Luft ausgesetzt sind. Wir wollen nun diese verschiedenen Resultate nach einander durchgehen, um diejenigen kennen zu lernen, welche noch richtig bleiben, und bei den anderen die Modificationen anzugeben, welche sie in Folge des Druckes, welchen die Atmosphäre auf die freien Oberflächen der Flüssigkeiten ausübt, zu erleiden haben.

1) Wenn sich eine schwere Flüssigkeit in einem Gefäss im Gleichgewicht befindet, und es ist ihre freie Oberfläche keinerlei Druck unterworfen, so ist diese Oberfläche eben und horizontal (§. 236). Dieser Gleichgewichtszustand kann offenbar durch den Druck der atmosphärischen Luft, der mit gleicher Stärke auf die verschiedenen Punkte der freien Oberfläche ausgeübt wird, nicht gestört werden: die freie Oberfläche einer schweren, im Gleichgewicht befindlichen Flüssigkeit ist also noch eben und horizontal, auch wenn diese Oberfläche dem Drucke der atmosphärischen Luft ausgesetzt ist.

2) In dem Falle, wo die freie Oberfläche einer schweren, im Gleichgewicht befindlichen Flüssigkeit dem Drucke der atmosphärischen Luft ausgesetzt ist, ist der Druck in irgend einem Punkte der Flüssigkeitsmasse oder in irgend einem Punkt der Wand des Gefässes, welches die Flüssigkeit enthält, nicht mehr blos dem Gewichte eines Flüssigkeitscylinders gleich, welcher zur Basis die Flächeneinheit und zur Höhe den vertikalen Abstand dieses Punktes von der freien Oberfläche hat (§. 238); sondern er ist gleich diesem Gewichte, vermehrt um den Druck, welchen die atmosphärische Luft auf die Flächeneinheit ausübt.

3) Wenn man den Druck bestimmen will, den eine Fläche von bestimmter Ausdehnung, gegen welche sich eine schwere Flüssigkeit stützt, zu erleiden hat, wie wir das in §. 240 gethan haben, so

muss man gleichfalls den Druck der atmosphärischen Luft, welcher auf die freie Oberfläche der Flüssigkeit ausgeübt wird und sich mit gleichmässiger Stärke auf die betrachtete Wand fortpflanzt, berücksichtigen und ihn zu dem hinzufügen, welcher aus dem Gewichte der Flüssigkeit selbst entspringt. Dadurch wird nicht blos der Gesammtdruck vermehrt, sondern es wird auch der Mittelpunkt des Druckes nicht mehr dieselbe Stelle einnehmen als in dem Fall, wo die freie Oberfläche der Flüssigkeit keinen Druck erfährt. Aber wenn man den Gesammtdruck, der auf die betrachtete Wand ausgeübt wird, sowie den Mittelpunkt dieses Drucks zu dem Zwecke bestimmen wollte, um die Grösse und den Angriffspunkt der Kraft kennen zu lernen, welche an der Wand angebracht werden muss, um sie zu verhindern, der Wirkung des Druckes nachzugeben, so müsste man ganz ebenso verfahren, als wenn der Druck der atmosphärischen Luft nicht existiren würde; das auf diese Weise erhaltene Resultat würde die gesuchten Stücke ergeben. Denn wenn sich einerseits der Druck der atmosphärischen Luft, der auf die freie Oberfläche der Flüssigkeit wirkt, mit gleichmässiger Stärke auf den betrachteten Theil der Wand fortpflanzt, so drückt die Luft andererseits mit der nämlichen Stärke auf die entgegengesetzte Seite dieses Wandstücks; diese beiden gleichen und entgegengesetzten Drückungen heben sich also gegenseitig auf, und der Vorgang ist ganz derselbe, als wenn der Druck der atmosphärischen Luft weder auf die eine, noch auf die andere Seite der betrachteten Fläche ausgeübt würde. Es ist also Das, was wir im §. 240 in Bezug auf den Druck, welcher auf eine rechteckige Wand ausgeübt wird, gefunden haben, noch richtig, so lange die Untersuchung nur den Zweck hat, die Grösse und den Angriffspunkt der Kraft zu finden, welche an dieser Wand angebracht werden muss, um dem Drucke der Flüssigkeit das Gleichgewicht zu halten.

4) Aehnliche Bemerkungen müssen in Bezug auf Das gemacht werden, was wir in den Paragraphen 241 bis 244 gesagt haben. Die Drückungen, von denen wir dort gesprochen haben, müssen blos als diejenigen betrachtet werden, die von der Flüssigkeit allein herrühren; sie sind also noch um diejenigen zu vermehren, welche aus dem Drucke der atmosphärischen Luft entspringen.

5) Wenn die freien Oberflächen einer Flüssigkeit, welche in communicirenden Gefässen enthalten ist, von Seite der atmosphärischen Luft gedrückt werden, so kann das Gleichgewicht doch wieder nur dann stattfinden, wenn diese freien Oberflächen in der nämlichen Horizontalebene liegen. Denn in der That sieht man, dass der Druck auf die bei *ab* (Fig. 338) eingezogene feine Wand von

Seite des Gefässes A her gleich ist dem Gewicht einer Flüssigkeitssäule, welche diese Wand zur Grundfläche und die Entfernung ihres Schwerpunkts vom Spiegel der Flüssigkeit in A zur Höhe hat, vermehrt um den Druck der atmosphärischen Luft, der auf die freie Oberfläche der Flüssigkeit im Gefässe A ausgeübt und gleichmässig auf die Wand *ab* fortgepflanzt wird. In gleicher Weise ist der auf die Wand *ab* von Seite des Gefässes B her ausgeübte Druck gleich dem Gewicht der Flüssigkeitssäule, welche diese Wand zur Grundfläche und die Entfernung ihres Schwerpunktes vom Niveau im Gefässe B zur Höhe hat, vermehrt um den auf die Oberfläche in B ausgeübten und auf *ab* gleichmässig fortgepflanzten Druck der atmosphärischen Luft. Diese auf beiden Seiten von *ab* ausgeübten Drückungen sind offenbar gleich, wenn die Oberflächen in den beiden Gefässen in der nämlichen Horizontalebene liegen.

6) Wenn die zwei communicirenden Gefässe zwei Flüssigkeiten von verschiedener Dichtigkeit enthalten, deren Oberflächen dem Drucke der atmosphärischen Luft ausgesetzt sind, so findet man auch jetzt noch, wie in §. 246, dass die Höhen dieser freien Oberflächen über der Horizontalebene, welche durch den Grenzspiegel der beiden Flüssigkeiten hindurchgeht, umgekehrt proportional den Dichtigkeiten dieser Flüssigkeiten sein müssen. Denn der Unterschied der Höhe dieser Oberflächen ist wohl allemal so gering, dass man den Druck der Luft auf dieselben für gleichgrosse Flächen von gleicher Stärke, somit in beiden Schenkeln sich aufhebend voraussetzen kann.

7) Bei allen Dem endlich, was wir in Bezug auf die freie Oberfläche einer Flüssigkeit, welche beliebigen Kräften unterworfen ist, sowie in Bezug auf die Kapillarerscheinungen gesagt haben, kann der Druck der atmosphärischen Luft keinerlei Aenderungen in den Resultaten, zu welchen wir gelangt sind, hervorbringen. In der That wird dieser Druck stets in jedem Punkt der freien Oberfläche einer Flüssigkeit in senkrechter Richtung auf diese Oberfläche ausgeübt. Wenn wir den Druck, welchen die atmosphärische Luft auf ein Molekül der Oberfläche ausübt, mit der Resultante der Molekularwirkungen zusammensetzen, welchen dasselbe unterworfen ist, so werden wir dadurch eine Gesammtresultante erhalten, auf welche wir dieselben Schlüsse anwenden können, wie oben auf diejenige der Molekularwirkungen allein (§§. 247 und 251). Diese Gesammtresultante wird senkrecht oder schief auf der freien Oberfläche der Flüssigkeit stehen, je nachdem die Resultante der Molekularwirkungen selbst senkrecht oder schief auf dieser Fläche ist; wo wir also oben unsere Schlüsse blos auf die Richtung dieser Resultante

gründeten, da müssen wir offenbar zu denselben Resultaten gelangen, ob wir den Druck der Luft berücksichtigen oder nicht. Uebrigens muss überhaupt bemerkt werden, dass der Einfluss des Druckes der atmosphärischen Luft stets so gering ist, dass er eine bemerkenswerthe Aenderung der im Obigen (§§. 247 bis 253) erhaltenen Resultate überhaupt nicht hervorbringen kann.

§. 269. **Communicirende Gefässe mit ungleichem Druck auf die freien Oberflächen.** — Wenn eine Flüssigkeit in communicirenden Gefässen in's Gleichgewicht gekommen ist, und es haben ihre freien Oberflächen keinen Druck zu erleiden, oder es ist der auf sie ausgeübte Druck der atmosphärischen Luft in allen ihren Punkten von gleicher Grösse, so müssen diese freien Oberflächen in der nämlichen Horizontalebene gelegen sein. Aber diess ist nicht mehr so in dem Fall, wo die freien Oberflächen der Flüssigkeit in den communicirenden Gefässen in Berührung mit Gasen stehen, deren Spannkräfte verschieden sind; da die Drückungen, welche von diesen Gasen auf die freien Oberflächen der Flüssigkeit ausgeübt werden, ungleich sind, so folgt, dass diese Oberflächen nicht mehr in gleicher Höhe stehen können; die stärker gedrückte dieser Flächen wird sich unter die andere stellen müssen.

Ein Beispiel hievon hatten wir schon in dem Apparat, welcher uns dazu gedient hat, die Richtigkeit des Mariotte'schen Gesetzes nachzuweisen (Fig. 376 Seite 481). Wir haben dort gesehen, dass, nachdem Quecksilber in den längeren Schenkel gegossen und die Luft in dem kürzeren Schenkel dadurch zusammengedrückt worden war, die freien Oberflächen des Quecksilbers in beiden Schenkeln ungleich hoch stehen und die Differenz ihrer Höhen gleich dem Unterschiede der Drückungen sein musste, welche sie einerseits von der freien, andererseits von der im kürzeren Schenkel eingeschlossenen atmosphärischen Luft zu ertragen hatten. Man darf nur die Schlüsse, welche wir an jenem Orte gemacht haben, wiederholen, um zu dem ganz allgemeinen Resultat zu gelangen, dass der Unterschied der Höhen der freien Oberflächen einer Flüssigkeit in zwei communicirenden Gefässen gleich ist der Höhe eines Cylinders der betrachteten Flüssigkeit, der zur Basis die Flächeneinheit hat, und dessen Gewicht gleich ist dem Unterschied der Drückungen, welche auf jene beiden freien Oberflächen ausgeübt und auf die Flächeneinheit bezogen werden.

Wenn der Druck auf die eine der beiden freien Oberflächen der Flüssigkeit 100, auf die andere 250 Gramm auf den Quadrat-Centimeter ist, und die Flüssigkeit ist Wasser, so muss die Differenz der Höhen dieser beiden Oberflächen $1^m,50$ sein; denn ein Wassercylinder, dessen

Basis 1 Quadrat-Centimer ist, muss eine Höhe von $1^m,50$ haben, um 150 Gramm schwer zu sein. Wenn, als Flüssigkeit immer Wasser vorausgesetzt, die Drückungen auf ihre beiden freien Oberflächen einerseits eine halbe, andererseits 3 Atmosphären betragen, so muss die erstere Oberfläche $25^m,82$ über der zweiten liegen; denn damit das Gewicht eines Wassercylinders, dessen Basis ein Quadrat-Centimeter ist, zwei und ein halb mal $1^k,033$ (§. 262) oder $2^k,582$ wiegt, muss er eine Höhe von $25^m,82$ haben.

§. 270. Wenn man das eine Ende einer Glasröhre in ein Gefäss, welches Wasser enthält, taucht und an dem anderen Ende mit dem Munde saugt, so sieht man alsbald das Wasser in der Röhre in die Höhe steigen, und zwar um so höher, je stärker man saugt. Diese Erscheinung ist nichts Anderes, als eine Folge des Gesetzes, welches wir in dem vorhergehenden Paragraphen angegeben haben. Wenn man den Mund an das Ende der Röhre ansetzt, sodass alle Verbindung des Innern dieser Röhre mit der äusseren Luft unterbrochen ist, so communicirt die darin enthaltene Luft frei mit derjenigen, welche in dem Mund und in den Lungen vorhanden ist, und bildet mit dieser eine abgeschlossene Luftmasse, die, so zu sagen, in einem von allen Seiten geschlossenen Gefäss enthalten ist. Das Saugen ist nun nichts Anderes, als eine Ausdehnung des Raumes, welchen die Luft in den Lungen annimmt; es wird folglich dadurch der abgeschlossenen Luftmasse, von der wir eben gesprochen haben, ein grösserer Raum dargeboten, und indem sie ihr Volumen vergrössert, vermindert sich ihre Spannkraft in entsprechendem Grade. Der Druck, welchen die Luft in der Röhre auf die Oberfläche des Wassers, mit welcher sie in Berührung ist, ausübt, wird somit kleiner, als er vorher war, d. h. also kleiner als der Druck der atmosphärischen Luft; und da dieser letztere ausserhalb der Röhre fortwährend mit gleicher Stärke wirkt, so folgt, dass die Oberfläche des Wassers innerhalb der Röhre schwächer gedrückt wird als aussen. Dadurch wird aber eine Erhebung der Flüssigkeit in der Röhre hervorgebracht, die um so bedeutender werden muss, je grösser die Differenz der Drückungen auf die beiden freien Oberflächen ist, d. h. je stärker gesaugt wird.

Das Saugen mit dem Munde kann niemals eine bedeutende Erhebung des Wassers in der Röhre hervorbringen. Aber wenn man anstatt dessen die Röhre, die wir als sehr lang voraussetzen, mit einer Luftpumpe in Verbindung setzt und nach und nach die Luft daraus entfernt, so sieht man das Wasser immer mehr darin in die Höhe steigen. Man wird jedoch alsbald bemerken, dass dieses auf solche Weise durch Saugen hervorgebrachte Steigen des Wassers

in der Röhre eine gewisse Grenze niemals überschreiten kann. Denn im höchsten Falle kann durch dieses Saugen ein vollständig luftleerer Raum im Innern der Röhre erreicht werden; die Differenz der Drückungen auf die freien Oberflächen in und ausser der Röhre kann die Grösse des Druckes der Luft niemals übersteigen, und folglich wird der Unterschied der Höhen jener beiden Oberflächen nicht grösser als die Höhe einer Wassersäule werden können, die dem Drucke der atmosphärischen Luft, wie er in dem Augenblick, in dem das Experiment gemacht wird, eben stattfindet, das Gleichgewicht zu halten im Stande ist. Wenn in diesem Augenblick die Höhe des Barometerstandes $0^m,76$ betrüge, so könnte sich das Wasser in der Röhre nicht höher als $10^m,33$ über die äussere Oberfläche erheben. Wenn das Experiment auf einen hohen Berg gemacht würde, wo die Höhe des Barometerstandes viel weniger beträgt, so würde die Grenze, bis zu welcher das Wasser in der Röhre durch Saugen gehoben werden kann, weit unter $10^m,33$ liegen.

§. 271. Wenn man die Spannkraft der Luft, welche mit einer der freien Oberflächen des Wassers, welches in communicirenden Gefässen enthalten ist, in Berührung steht, anstatt sie durch Saugen zu vermindern, auf irgend eine Art erhöht, so wird dadurch eine Veränderung der Spiegel im entgegengesetzten Sinne hervorgebracht; die freie Oberfläche, welche auf diese Weise einem stärkeren Druck ausgesetzt wird, senkt sich, während sich die andere um eine entsprechende Grösse erhebt. Es sei z. B. A (Fig. 377) ein vollständig geschlossener Kasten, der Wasser enthält, welches frei in die Röhre B übertreten kann, die in der Nähe des Bodens in das Gefäss A einmündet; dieses Wasser wird offenbar im Kasten und in der Röhre gleich hoch stehen, so lange die Drückungen welche seine Oberflächen zu tragen haben, von gleicher Grösse sind. Wenn man aber, während in der Röhre B fortwährend die freie atmosphärische Luft drückt, in den Kasten A durch die Röhre C auf eine Art und Weise, von der wir später sprechen werden, mehr und mehr Luft hineinschafft, so wird die Spannkraft dieser Luft fortwährend zunehmen; es wird folglich auch der Druck, den sie auf das Wasser im Kasten ausübt, immer grösser und grösser, und das Wasser in der Röhre B muss mehr und mehr in die Höhe steigen. Der Unterschied des Niveau's des Wassers in der Röhre und im Kasten wird hier durch die Differenz zwischen dem Drucke der Luft in A und dem Drucke

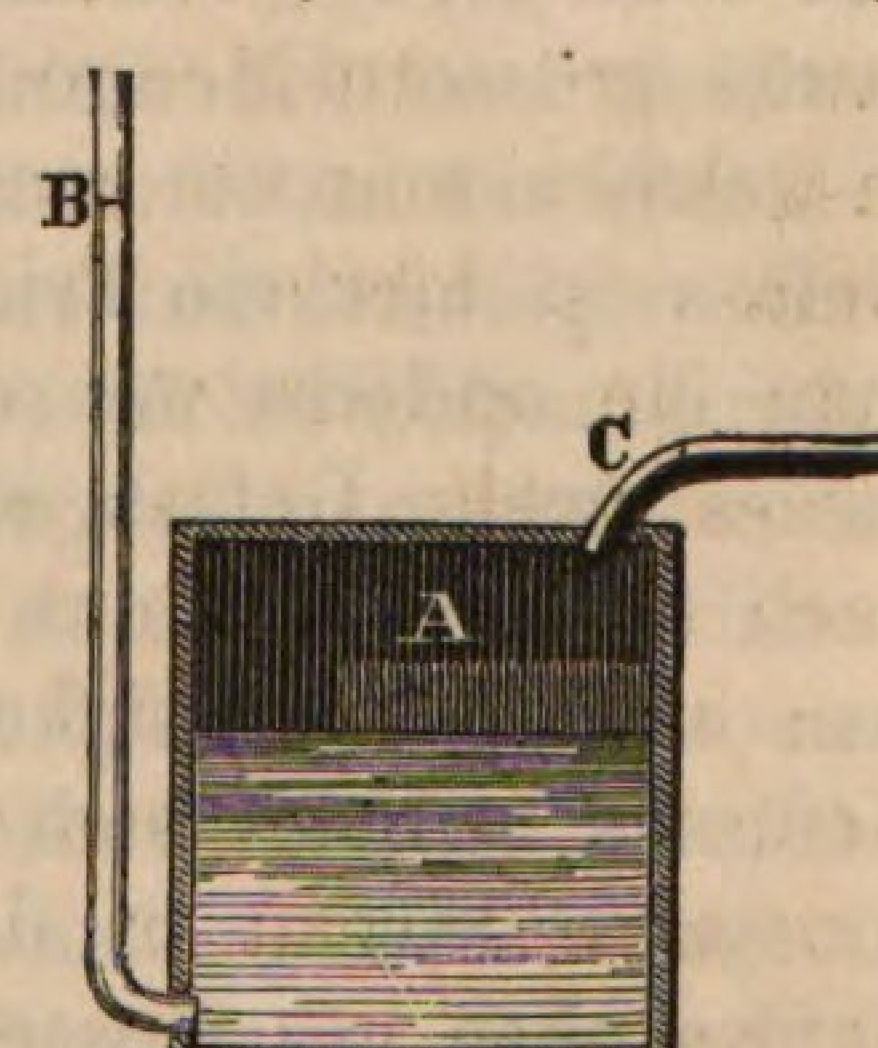


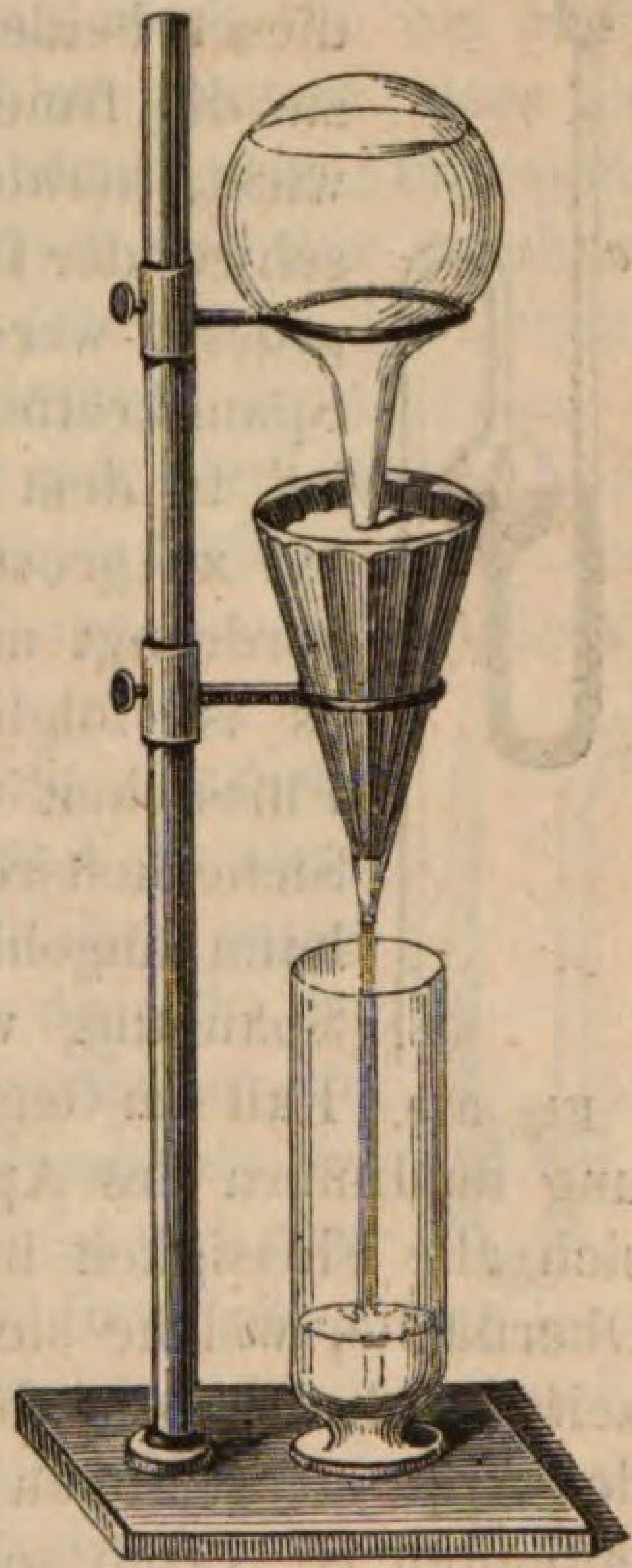
Fig. 377.

der freien atmosphärischen Luft, der in B wirkt, bestimmt; und da die erste von diesen beiden Drückungen beliebig wachsen kann, so folgt, dass die Höhe, bis zu welcher sich das Wasser in der Röhre B erhebt, gleichfalls eine beliebige Grösse erhalten kann. Die Höhe der Oberfläche des Wassers in der Röhre B über der Oberfläche des Wassers im Gefässe A muss offenbar so oft mal $10^m,33$ betragen, als der Ueberschuss des Druckes der Luft in A über den Druck der atmosphärischen Luft Atmosphären enthält (§. 262).

Es wird gut sein, nochmals auf den wesentlichen Unterschied, der zwischen der Erhebung des Wassers durch Saugen und der Erhebung durch ausgeübten Druck besteht, aufmerksam zu machen. Im ersten Fall ist die grösste Höhe, welche das Wasser erreichen kann, gleich der Höhe einer Wassersäule, welche dem Drucke der atmosphärischen Luft das Gleichgewicht hält ($10^m,33$ bei $0^m,76$ Barometerstand); in dem zweiten Fall dagegen kann das Wasser auf jede beliebige Höhe gehoben werden.

§. 272. **Mittel, ein constantes Niveau zu erhalten.** — Es ist häufig nothwendig, die Oberfläche der Flüssigkeit in einem Gefäss, wenn sich dieselbe, sei es durch Ausfliessen der Flüssigkeit durch eine unten angebrachte Oeffnung, sei es durch Verdampfen oder Verdunsten, fortwährend zu senken sucht, in constanter Höhe zu erhalten; man kann hiezu das folgende Mittel anwenden, dessen man sich besonders bei chemischen Arbeiten bedient, um eine etwas grössere Menge Flüssigkeit zu filtriren. Ueber dem Gefäss, in welchem man ein constantes Niveau erhalten will, Fig. 378, (dieses Gefäss ist hier ein Trichter, welcher ein Papierfilter enthält) bringt man ein anderes mit enger, nach unten gekehrter Oeffnung an; dieses zweite Gefäss wird vorher mit Flüssigkeit gefüllt, welche nach und nach in das erste Gefäss herabfliessen und die aus diesem entfernte Flüssigkeit ersetzen soll. Die Oeffnung dieses zweiten Gefässes befindet sich genau in der Höhe, in welcher man das constante Niveau in dem ersten erhalten will. Da dieses zweite Gefäss oben geschlossen ist, so kann die Flüssigkeit nicht aus demselben ausfliessen, so lange seine Oeffnung unten auch nur noch ein wenig unter den Spiegel der Flüssigkeit im unteren Gefäss taucht. Durch vorhergegangenen Ausfluss einer gewissen Menge Flüssigkeit aus dem oberen Gefäss hat sich nämlich die über dem Spiegel der Flüssigkeit in diesem Gefäss abgesperrte Luft etwas ausgedehnt und dadurch eine geringere Spannkraft angenommen. Sie ist folglich nicht mehr im Stande, dem Drucke der atmosphärischen Luft auf dem Spiegel im unteren Gefäss das Gleichgewicht

zu halten, und dieser letztere Druck ist es, welcher die Flüssigkeit im oberen Gefässe zurückhält. Wenn der Spiegel der Flüssigkeit im unteren Gefäss mehr und mehr herabsinkt und auf diese Weise endlich die Oeffnung des oberen Gefässes frei macht, so dringt eine Luftblase durch diese Oeffnung ein und steigt in die Höhe, während eine entsprechende Quantität Flüssigkeit aus dem oberen in das untere Gefäss herabfliesst. Das Niveau in letzterem wird also etwas gehoben; wenn es sich wieder senkt, so öffnet es einer neuen Luftblase den Durchgang, welche in das obere Gefäss eintritt und eine neue Quantität Flüssigkeit aus demselben verdrängt u. s. f. Es ist klar, dass auf diese Weise das Niveau der Flüssigkeit im unteren Gefäss so lange in constanter Höhe erhalten wird, als sich in dem oberen Gefäss noch ein Theil der Flüssigkeit befindet, die anfangs in dasselbe gebracht worden ist.


Fig. 378.

§. 273. **Sicherheitsröhren.** — Die Sicherheitsröhren, welche häufig an Apparaten, die zu chemischen Arbeiten dienen, angebracht werden, haben den Zweck, Unfälle zu verhüten, welche dadurch entstehen können, dass die Differenz zwischen der Spannkraft der in jenen Apparaten enthaltenen Gase und derjenigen der atmosphärischen Luft zu gross wird. Wenn nämlich die Spannkraft jener Gase zu sehr wächst, so kann sie eine Explosion veranlassen; wird diese Spannkraft dagegen zu schwach, so wird eine Art Saugen hervorgebracht, in Folge dessen die Flüssigkeiten, mit denen der Apparat in Verbindung steht, in das Innere desselben dringen und auf diese Weise ebenfalls schwere Unglücksfälle hervorbringen können. Um beide Fälle zu verhüten, befestigt man auf einem der Theile des Apparates, mit welchem die erwähnten Gase in Verbindung stehen, eine doppelt gekrümmte Röhre (Fig. 379), deren mittlerer Schenkel sich in einer Kugel erweitert, während ihr oberstes Ende die Gestalt eines Trichters hat. In diese Röhre bringt man eine kleine Quantität Flüssigkeit, Wasser oder Quecksilber; diese Flüssigkeit verhindert, dass das im Apparat enthaltene Gas, welches in dem Theil *a* der Röhre bis zum Reservoir *b* vordringt, in die freie Luft entweichen kann. Wenn die Spannkraft dieses

Gases genau gleich derjenigen der atmosphärischen Luft wäre, so würden die Oberflächen der Flüssigkeit im Reservoir *b* und in dem Schenkel *c* in gleicher Höhe stehen. Aber sobald eine dieser beiden Spannkräfte die andere übertrifft, drückt sie die freie Oberfläche der Flüssigkeit, auf welche sie wirkt, herab, während die andere steigt, und der Unterschied der Höhen dieser beiden Oberflächen muss um so grösser werden, je grösser die Differenz zwischen den Spannkräften innerhalb und ausserhalb des Apparats ist. In dem Falle, wo die Spannung des Gases im Apparat zu gross wird, wird die Flüssigkeit aus der Kugel *b* verdrängt und durch den Schenkel *c* hinausgeschleudert; es ist folglich die Communication, welche durch jene Flüssigkeit unterbrochen war, in der ganzen Länge der Sicherheitsröhre wieder hergestellt; das Gas im Apparat kann ungehindert in die freie Luft strömen, und seine Spannung wird sich daher rasch vermindern. In dem

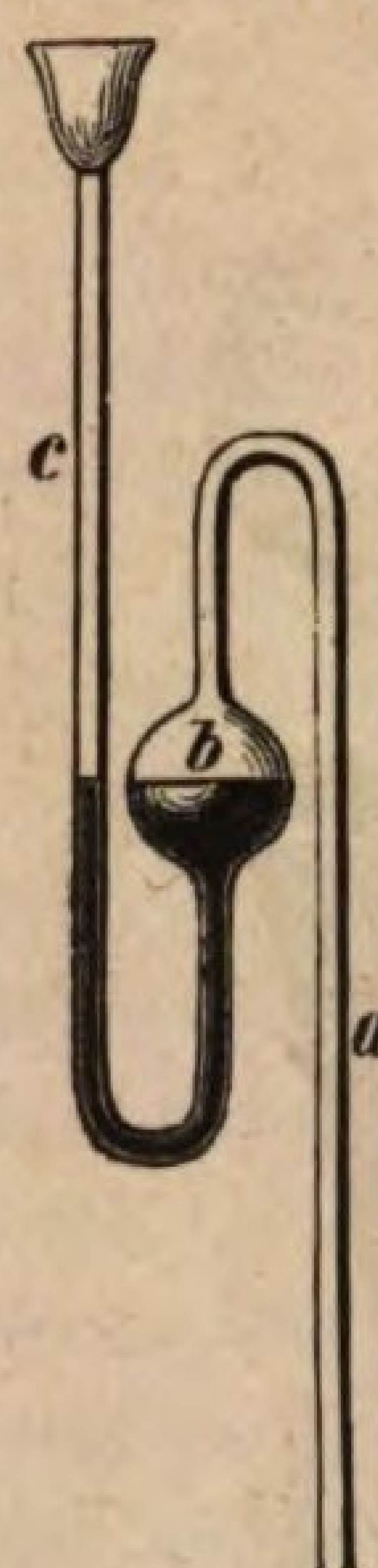


Fig. 379.

Fall im Gegentheil, wo durch Verminderung der Spannung im Innern des Apparats ein Saugen stattfinden könnte, zieht sich alle Flüssigkeit in die Kugel *b* zurück; in Folge der breiten Oberfläche, welche sie dadurch erhält, wird sie nun mit Leichtigkeit von Luftblasen durchdrungen, welche durch die Röhre *a* in den Apparat gelangen und die Spannung des Gases, welches in ihm enthalten ist, rasch so weit erhöhen, dass die Gefahr beseitigt wird.

§. 274. **Manometer.** — Um die Spannung eines Gases, das in einem geschlossenen Raum enthalten ist, zu messen, bedient man sich der Apparate, welche im Allgemeinen Manometer genannt werden. Diejenigen dieser Apparate, welche hier angegeben werden sollen, theilt man in zwei verschiedene Arten: in Manometer mit freier Luft und in Manometer mit verdichteter Luft.

Ein Manometer mit freier Luft ist eine doppelt gekrümmte Röhre, ganz ähnlich der Sicherheitsröhre, von der wir eben gesprochen haben; nur sind die Schenkel bei dem ersteren gewöhnlich viel länger als bei der letzteren. Der Ueberschuss der Spannkraft des Gases über die der atmosphärischen Luft veranlasst ein Steigen der Flüssigkeit (welche hier meist Quecksilber ist) in dem Schenkel *c*; und das Verhältniss, welches zwischen dem Unterschied der Höhen der freien Oberflächen der Flüssigkeit im Manometer und dem Barometerstande stattfindet, gibt die Zahl der Atmosphären an, um welche die zu messende Spannkraft die der atmosphärischen Luft übertrifft. Demnach ist, wenn die Differenz der Höhen der Quecksilberspiegel im Manometer $0^m,76$ beträgt, der gesuchte Druck

des Gases 2 Atmosphären; wenn diese Differenz 2mal $0^m,76$ beträgt, so ist die Spannung des Gases 3 Atmosphären u. s. f. Neben dem Schenkel des Manometers, in welchem das Quecksilber durch den Druck des Gases in die Höhe getrieben wird, ist ein Masstab befestigt; die Eintheilung desselben ist so gemacht, dass sie unmittelbar die Grösse des zu messenden Gasdruckes in Atmosphären und zehntels Atmosphären angibt; man darf also nur zusehen, an welcher Stelle dieses Masstabes die freie Oberfläche des Quecksilbers steht, um den gesuchten Druck unmittelbar zu erhalten.

§. 275. Die Einrichtung der Manometer mit verdichteter Luft ist ähnlich derjenigen der Manometer mit freier Luft; nur ist der Schenkel *c* (Fig. 380), in welchem der Druck des Gases das Quecksilber in die Höhe treibt, oben geschlossen, anstatt wie bei den Manometern mit freier Luft offen zu sein. Dadurch ist in diesem Schenkel eine gewisse Quantität Luft abgesperrt, welche sich dem Ansteigen des Quecksilbers entgegenstellt und dadurch verhindert, dass sich dasselbe bei demselben Druck des Gases in *ab* so hoch erhebt wie im Manometer mit freier Luft; denn in dem Maasse, als das Quecksilber in *c* steigt, muss es die Luft, welche sich über ihm befindet, zusammendrücken und folglich ihre Spannkraft erhöhen; diese Spannkraft aber, vermehrt um den Druck, welcher durch die Differenz der Quecksilberspiegel in beiden Schenkeln hervorgebracht wird, muss dem Drucke des Gases im Schenkel *b* das Gleichgewicht halten. Wenn die in *c* eingeschlossene Luft z. B. auf die Hälfte ihres Volumens, das sie unter dem Drucke der freien atmosphärischen Luft einnahm, reducirt worden ist, so ist ihre Spannkraft verdoppelt worden; der in *b* ausgeübte Druck wird also zwei Atmosphären, mehr dem Bruchtheile einer Atmosphäre betragen, welcher dem Unterschied der Höhen der Quecksilberspiegel in *b* und *c* entspricht. Die Röhre *c* wird vorher so eingetheilt, dass an der Stelle, wo sich der Quecksilberspiegel in dieser Röhre in Folge des Druckes des Gases im Schenkel *b* befindet, die gesuchte Spannung dieses Gases unmittelbar abgelesen werden kann.

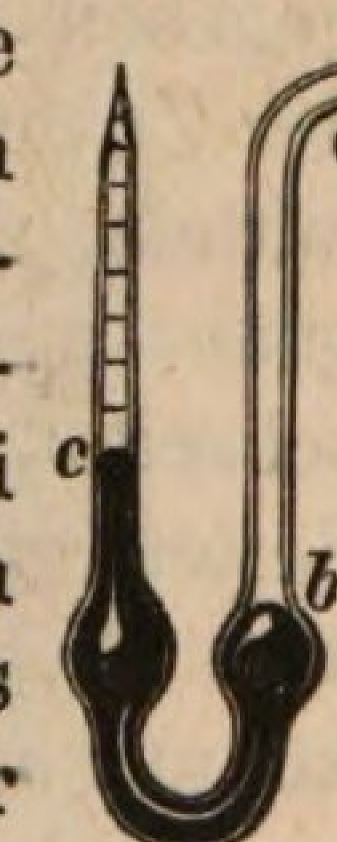


Fig. 380.

Damit ein Manometer mit comprimirter Luft die Spannkraft des Gases, mit welchem es in Verbindung gesetzt ist, immer richtig angibt, ist es nothwendig, dass die Temperatur der in der Manometerröhre eingeschlossenen Luft stets dieselbe bleibt wie diejenige, bei welcher das Manometer graduirt wurde. Wir haben in der That oben (§. 267) gesehen, dass die Aenderungen der Temperatur einen sehr merkbaren Einfluss auf die Spannkraft einer Gasmasse ausüben, welche dasselbe Volumen behält. Wenn ein

Manometer mit comprimirter Luft in einer Temperatur gebraucht wird, die ziemlich von der verschieden ist, bei welcher es eingetheilt wurde, so wird es allemal nur sehr ungenaue Messungen liefern können.

§. 276. **Zusammendrückbarkeit der tropfbaren Flüssigkeiten.** — Wenn man eine gewisse Menge Flüssigkeit, die in einem vollständig geschlossenen Gefäss enthalten ist, einem sehr starken Drucke aussetzt, so erfährt sie eine Verminderung ihres Volumens, die aber so klein ist, dass man die tropfbar flüssigen Körper lange Zeit für absolut unzusammendrückbar gehalten und ihnen daher auch den Namen unzusammendrückbare Flüssigkeiten, im Gegensatz zu den elastischen Flüssigkeiten oder Gasen, gegeben hat. Wenn bei den Versuchen, welche man zum Beweis der Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten anstellt, der Kolben, mittelst welchem auf die Oberfläche der Flüssigkeit ein Druck ausgeübt wird, im Sinne dieses Druckes um eine gewisse Grösse fortschreitet, so dringt er wohl ein wenig in das Innere des von allen Seiten geschlossenen Gefässes, welches die Flüssigkeit enthält, ein; aber diese scheinbare Verminderung des Volumens der Flüssigkeit könnte auch allein von der Ausdehnung der Gefässwände herrühren, welche durch den grossen Druck, den sie von Seite der Flüssigkeit erfahren, hervorgebracht wird. Man wird desshalb zu einem sicheren Resultat nur dann gelangen, wenn man diese Ausdehnung der Wände mittelst eines Druckes, welche man an ihren äusseren Flächen anbringt, und der im Stande ist, dem inneren Drucke das Gleichgewicht zu halten, verhindert. Diess war der Gedanke, welcher Oerstedt zur Anwendung des folgenden, Piezometer genannten Apparates führte.

Ein Glasgefäss *a* (Fig. 381) ist von allen Seiten geschlossen, ausgenommen an seinem obersten Theil, wo eine Röhre *b* von kleinem Durchmesser an dasselbe angeschmolzen ist. Man füllt das Gefäss und die Röhre mit Wasser und bringt dabei zugleich in die letztere eine kleine Menge Quecksilber, das dazu bestimmt ist, als Index zu dienen. Das Ganze wird hierauf in einen Behälter A, gleichfalls von Glas, gestellt, der vollständig mit Wasser gefüllt ist. Dieser Behälter ist oben durch einen Kolben B vollkommen luft- und wasserdicht geschlossen; die Stange dieses Kolbens, die eine Schraubenspindel bildet, geht durch den Deckel C, in welchem eine Schraubenmutter eingeschnitten ist, und endigt sich in einen Handgriff, mittelst dessen man sie in dieser Schraubenmutter drehen kann. Die Befestigung dieser Stange an dem Kolben ist so eingerichtet, dass sich die Stange drehen kann, ohne den Kolben in

diese Bewegung mit hineinziehen zu müssen. Wenn man daher auf den Handgriff so wirkt, dass der Kolben B in dem Behälter A abwärts geht, so erfährt das Wasser in dem letzteren einen Druck von Seite des Kolbens. Dieser Druck pflanzt sich auf das Gefäss *a* und auf die Flüssigkeit, welche es enthält, fort, und man sieht in Folge dessen den Quecksilberindex in der Röhre *b* sinken. Wenn sich der innere Rauminhalt des Gefässes *a* und des Theils der Röhre *b*, welcher sich unter dem Quecksilberindex befindet, durch den ausgeübten Druck vergrössern könnte, so würde diese Senkung des Index noch nicht beweisen, dass das in dem Gefäss *a* enthaltene Wasser zusammengedrückt worden ist. Aber dem ist nicht so. Das Gefäss *a* wird von aussen nach innen ebenso stark gedrückt, als von innen nach aussen. Diese Drückungen können also höchstens eine Verminderung der Dicke der Wände des Gefässes hervorbringen, die aber bei der geringen Zusammendrückbarkeit des Glases und der geringen Dicke, die diese Wände besitzen, meist vernachlässigt werden darf; die Senkung des Quecksilberindex kann also sicher nur von einer Verminderung des Volumens der im Gefäss *a* enthaltenen Flüssigkeit herrühren und beweist somit die Zusammendrückbarkeit derselben.

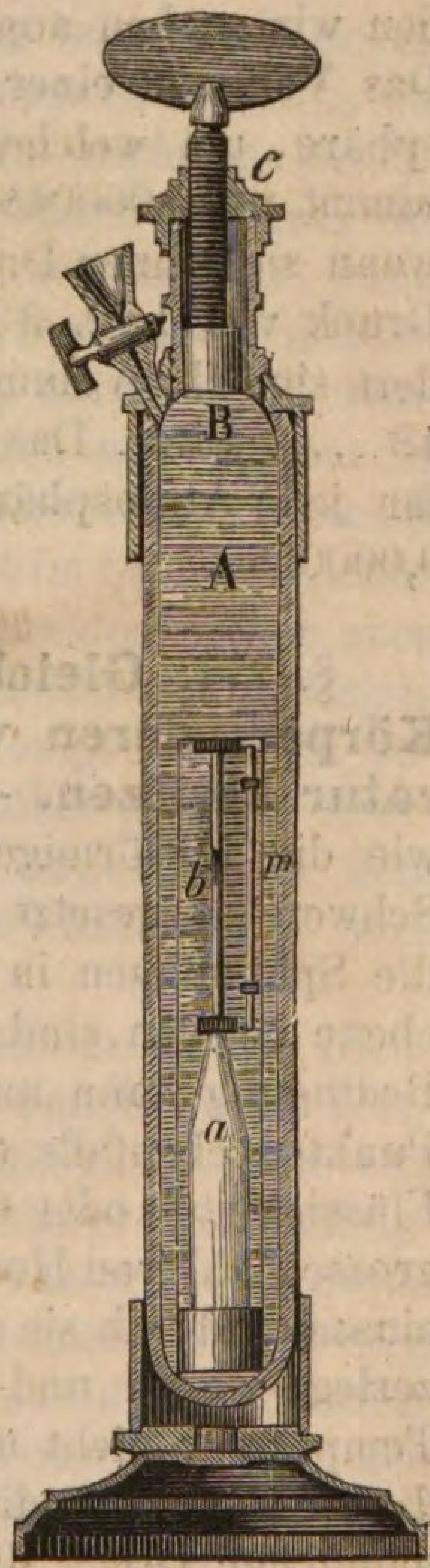


Fig. 381.

Neben dem Gefäss *a* ist eine oben geschlossene, unten offene Glasröhre *m* befestigt und nach gleichen Volumtheilen ihres Inhalts graduirt. Diese Röhre ist vollständig mit Luft gefüllt, wenn das Wasser im Behälter A nur einem Drucke gleich dem der atmosphärischen Luft ausgesetzt ist. Der Druck, welcher durch das Senken des Kolbens B hervorgebracht wird, veranlasst eine Verminderung des Volumens dieser Luft, das nach dem Mariotte'schen Gesetz im umgekehrten Verhältniss zu diesem Drucke steht; das Wasser steigt in der Röhre *m*, und die Stelle, bis zu welcher sich sein Spiegel erhebt, hängt von der Grösse des ausgeübten Druckes ab und kann folglich als Maass desselben dienen. Diese Röhre *m* ist offenbar nichts Anderes als ein Manometer mit verdichteter Luft.

Genaue Versuche, welche von Regnault mittelst eines Apparates angestellt wurden, der ein wenig verschieden von dem war, den wir soeben angegeben haben, führten zu folgenden Resultaten: Das Volumen einer Wassermasse vermindert sich für jede Atmosphäre, um welche der Druck, der auf sie ausgeübt wird, zunimmt, um 0,000048; d. h. wenn eine Wassermasse, deren Volumen wenn sie keinen Druck erleidet, eine Million Liter beträgt, einem Druck von 1, 2, 3 Atmosphären ausgesetzt wird, so vermindert sich ihr Volumen um bezüglich 48, oder 2mal 48 oder 3mal 48 Liter. Das Volumen einer Quecksilbermasse vermindert sich für jede Atmosphäre, um welche sich ihr Druck vermehrt, um 0,0000035.

§. 277. **Gleichgewicht der flüssigen und luftförmigen Körper, deren verschiedene Theile ungleiche Temperatur besitzen.** — Wir haben oben gefunden, dass die flüssigen wie die luftförmigen Körper, wenn sie allein der Wirkung der Schwere ausgesetzt sind, nur im Gleichgewicht sein können, wenn die Spannungen in allen Punkten, die in der nämlichen Horizontalebene gelegen sind, dieselbe Grösse haben (§§. 230 und 256). Diese Bedingung kann nur erfüllt sein, so lange die Temperatur in diesen Punkten ebenfalls die nämliche ist. Setzen wir voraus, dass die Flüssigkeits- oder Gasmasse, welche wir betrachten, durch eine grosse Zahl von Horizontalebenen, die in kleinen Entfernungen von einander durch sie gelegt gedacht werden, in lauter dünne Schichten zerlegt werde und sehen wir, was stattfinden müsste, wenn die Temperatur nicht überall, in der ganzen Ausdehnung einer jeden dieser Schichten die nämliche wäre. Wir wissen, dass bei dem nämlichen Druck die Dichtigkeit eines flüssigen oder gasförmigen Körpers, abgesehen von einigen Ausnahmen, um so geringer wird, je höher seine Temperatur ist. Die Dichtigkeit der Flüssigkeit oder des Gases würde also wie die Temperatur, in jeder von unseren Schichten veränderlich sein; und wenn daher auch die Drückungen in allen Punkten der oberen Begrenzungsfläche irgend einer dieser Schichten gleich wären, so wäre diess sicher schon nicht mehr in den Punkten der Horizontalebene der Fall, durch welche diese Schichte auf ihrer untern Seite begrenzt ist: Denn der Unterschied der Drückungen in zwei Punkten, die in ein und derselben Vertikalen auf den Begrenzungsflächen dieser Schichte gelegen sind, ist gleich dem Gewichte einer Flüssigkeits- oder Gassäule, welche zwischen diesen beiden Punkten enthalten ist; und diese Gewichte wären unserer Voraussetzung nach an den verschiedenen Stellen der Schichte nicht

die nämlichen. Die Ungleichheit der Temperatur in den verschiedenen Punkten ein und derselben Horizontalschichte verträgt sich also nicht mit dem Gleichgewicht der flüssigen oder luftförmigen Körper, da nothwendig daraus folgen würde, dass in Punkten, die in der nämlichen Horizontalebene gelegen sind, ungleiche Drückungen stattfänden. Eine schwere Flüssigkeits- oder Gasmasse, die in ihren verschiedenen Theilen ungleiche Temperatur besitzt, kann also nur im Gleichgewicht sein, wenn jede der Horizontalschichten, aus denen sie bestehend gedacht werden kann, durchweg die nämliche Temperatur hat. Diese Schichten werden sich so übereinander lagern, als wenn sie von ebensoviel Flüssigkeiten von verschiedener Dichtigkeit gebildet würden, die sich nach §. 244 im Gleichgewichtszustande so übereinander stellen, dass ihre Trennungsflächen eben und horizontal sind. Da ausserdem für die Stabilität des Gleichgewichts erfordert wird, dass die Dichtigkeit wenigstens nicht zunimmt, wenn man von einer Schichte in eine höher gelegene übergeht, so sieht man, dass im Allgemeinen die Temperatur in dem Maasse zunehmen muss, als man sich in der Flüssigkeits- oder Gasmasse erhebt.

Dieses letztere Resultat erleidet einige Ausnahmen. Die Dichtigkeit des Wassers, welche im Allgemeinen mit zunehmender Temperatur abnimmt, wächst im Gegentheil, wenn die Temperatur von 0° bis 4°,1 C. steigt. Desshalb hat das Wasser seine grösste Dichtigkeit nicht bei 0° sondern bei 4°,1, und in einer Wassermasse, deren Temperatur unter 4°,1 liegt, befinden sich also die kälteren Schichten oben, die wärmeren unten; bis 0° erkaltet muss sie folglich auf ihrer Oberfläche zuerst gefrieren, und darin liegt der Grund, warum sich das Wasser in einem Gefässe oder in einem Teiche zuerst mit einer dünnen Eisschichte überzieht, die nur allmälig dicker wird, während es in grösseren Tiefen gar nicht, oder nur bei ausserordentlicher Erkältung erstarrt. — Wenn eine Gasmasse von durchaus gleicher Temperatur im Gleichgewicht ist, so besitzen die obersten Schichten eine geringere Dichtigkeit als die unteren (§. 257). Es ist also klar, dass die obersten Schichten etwas erkalten können, ohne dass ihre Dichtigkeit, die mit der Abnahme der Temperatur fortwährend zunimmt, grösser wird als die der unter ihnen gelegenen Schichten; das Gleichgewicht kann also möglicherweise noch fortbestehen und stabil bleiben, obgleich die Temperatur abnimmt, wenn man von einer Schichte in eine höher gelegene übergeht. Dieser letztere Fall findet in der Atmosphäre der Erde in der That statt. Die Dichtigkeiten der Horizontalschichten, in welche man sich eine Luftsäule, die sich in vertikaler Richtung durch die ganze Höhe der Atmosphäre er-

streckt, zerlegt denken kann, nehmen von unten nach oben stetig ab, trotzdem, dass die Temperatur immer geringer wird, je höher man sich erhebt.

§. 278. Wenn eine Flüssigkeit in einem Gefäss im Gleichgewicht ist und man erwärmt einen Theil der Seitenwände oder den Boden dieses Gefässes, so theilt sich die Wärme, indem sie diese Wände durchdringt, der Flüssigkeit mit, und das Gleichgewicht wird gestört. Die erwärmte Flüssigkeit steigt in die Höhe und wird durch andere Theile der Flüssigkeit ersetzt, die sich nun ihrerseits erwärmen und aufsteigen u. s. f.; es findet also eine fortdauernde Circulation statt, welche nach und nach die verschiedenen Theile der Flüssigkeit mit den erhitzten Wänden in Berührung bringt und auf diese Weise eine stetig fortschreitende Erhöhung der Temperatur in der ganzen Flüssigkeitsmasse veranlasst. Wenn die Flüssigkeit blos von oben erwärmt würde, so würde die Circulationsbewegung nicht hervorgebracht werden, und die Wärme würde sich nur ausserordentlich langsam durch die ganze Flüssigkeitsmasse verbreiten. Man kann die Bewegung, welche in einer Wassermasse, die in einem Gefässe enthalten ist, durch die Erwärmung der Wände dieses Gefässes hervorgebracht wird, sichtbar machen, indem man eine kleine Quantität Sägespäne in die Flüssigkeit bringt, deren Theilchen an der Bewegung des Wassers Theil nehmen.

Aehnliche Bewegungen werden in einer im Gleichgewicht befindlichen Gasmasse hervorgebracht, wenn man einen Theil der Wände, von denen dieses Gas eingeschlossen ist, oder überhaupt einen Körper, mit dem es in Berührung steht, erwärmt. Wenn man in einem Ofen, dessen Rauchrohr sich inmitten der Luft, welche im Zimmer enthalten ist, vertikal erhebt, Feuer macht, so erwärmt sich dieses Rohr und mit ihm die Theile der Luft, mit denen es in Berührung steht; diese Lufttheilchen setzen sich dadurch in Bewegung, und auf diese Weise bildet sich rings um die Röhre ein continuirlicher, aufsteigender Luftstrom, der so lange dauert, als das Rohr wärmer als die Luft ist, welche es umgibt. Dieser Luftstrom wird sichtbar, wenn das Sonnenlicht auf das Rohr fällt und den Schatten desselben auf eine benachbarte Wand wirft; man sieht zu beiden Seiten des Schattens der Röhre leichte, wolkige Schatten mit grosser Geschwindigkeit in die Höhe steigen. Diese Schatten werden durch das Spiel des Lichtes in der bewegten Luft in Folge der Aenderungen in der Dichtigkeit derselben, welche durch die Bewegung selbst hervorgerufen werden, hervorgebracht. Aber man kann den aufsteigenden Luftstrom auch noch auf andere Weise bemerklich machen. Man befestigt nämlich an dem Rohr einen auf-

wärts gebogenen Eisendrath (Fig. 382) und setzt auf die Spitze desselben einen Streifen Papier, der sich rings um den Drath schraubenförmig herabsenkt. Indem die Luft in ihrer aufsteigenden Bewegung gegen die nach unten gekehrte Fläche dieses Papierstreifens, die sich durchweg in schiefer Richtung ihrer Bewegung entgegenstellt, anstösst, theilt sie demselben eine Rotationsbewegung um die Vertikale mit, welche durch seinen Unterstützungspunkt hindurchgeht.

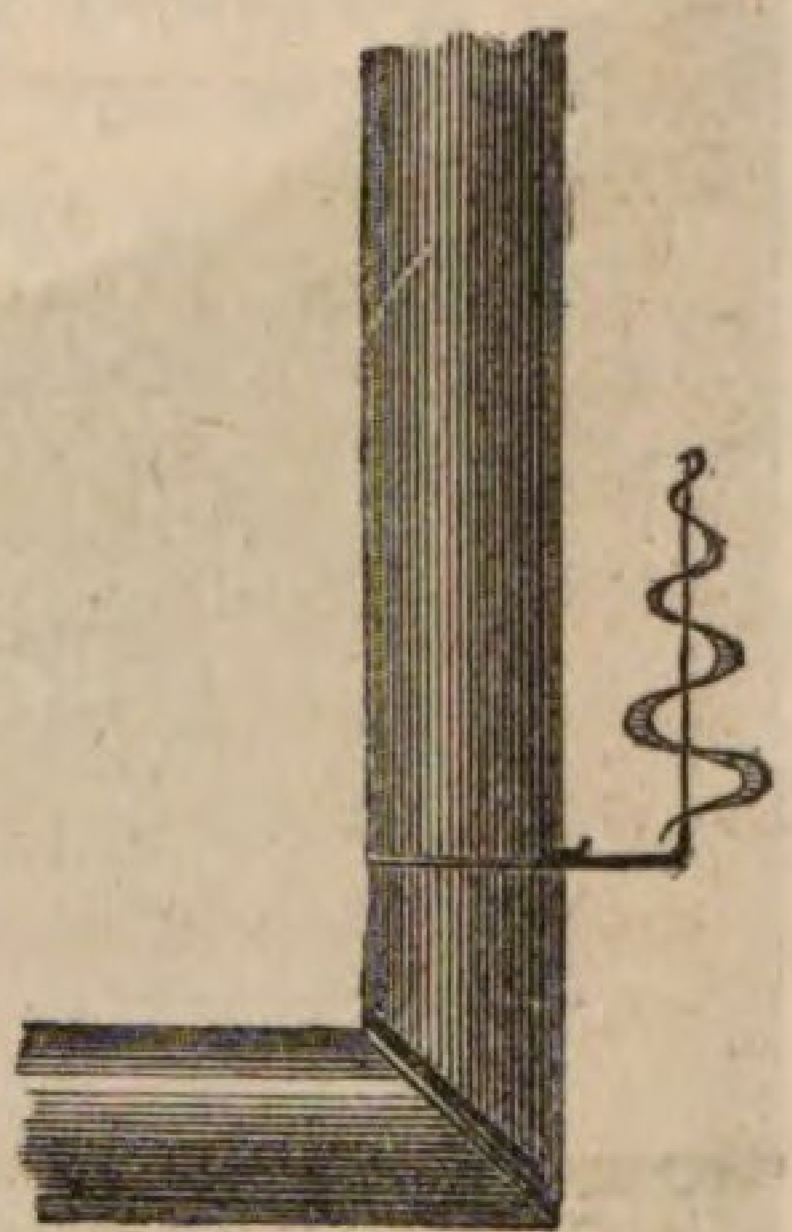


Fig. 382.

Die Bewegungen der atmosphärischen Luft, d. h. die Winde entspringen daraus, dass gewisse Theile der Atmosphäre ihre Dichtigkeit ändern und doch die nämliche Spannung behalten, sodass das Gleichgewicht nicht fortbestehen kann; die Luft setzt sich in Bewegung, um eine andere Anordnung herbeizuführen, bei welcher das Gleichgewicht wieder hergestellt ist. Wenn die Ursache, welche die Störung des Gleichgewichts hervorgebracht hat, fortdauert, so dauert die Bewegung der Luft gleichfalls fort. Die Aenderungen der Dichtigkeit, welche diese Bewegungen hervorrufen, werden theils durch Aenderungen der Temperatur, theils durch die Gegenwart einer grösseren oder geringeren Menge von Wasserdampf hervorgebracht, welcher immer in der atmosphärischen Luft vorhanden ist.

§. 279. **Luftwechsel in Bergwerken.** — Es kommt häufig vor, dass ein mit Luft gefüllter Raum auf mehrere verschiedene Arten mit der freien Atmosphäre in Verbindung steht; so communicirt die Luft, welche in einem Zimmer enthalten ist, durch die Ritzen der Thüren und Fenster, durch die Schornsteine u. s. f. mit der äusseren Luft. Unter diesen Umständen können, wie wir sogleich sehen werden, die Temperaturunterschiede in verschiedenen Punkten nach Luftströmungen hervorbringen, die zum Zwecke des Wechsels der Luft genügen.

Betrachten wir zunächst den Vorgang, welcher stattfindet, wenn eine unterirdische Höhlung, der Stollen eines Bergwerks z. B., mit der atmosphärischen Luft durch zwei vertikale Schächte (Fig. 383) in Verbindung steht. Für das Gleichgewicht der Luft, sowohl der äusseren, als der im Innern des Stollens enthaltenen, ist es erforderlich, dass der Druck in allen Punkten derselben Horizontalebene, welche durch das Innere irgend eines mit Gas erfüllten Raumes hindurch gelegt wird, dieselbe Grösse habe. Die Drückungen in A und B müssen also, ebenso wie die in C und D, einander gleich sein.

Aber der Unterschied der Drückungen in A und C ist gleich dem Gewichte der Luftsäule AC, deren Grundfläche die Flächeneinheit ist; ebenso ist der Unterschied der Drückungen in B und D gleich dem Gewichte der Luftsäule BD: die Gewichte der beiden Luftsäulen AC und BD müssen folglich einander gleich sein. Diese Bedingung ist erfüllt: 1) wenn die Temperatur überall in der ganzen Luftmasse die nämliche ist; oder 2) wenn sich die Temperatur längs der beiden Luftsäulen AC und BD auf gleiche Weise ändert; oder 3) wenn sich die Aenderungen in der Dichtigkeit, welche aus den Verschiedenheiten der Temperaturen längs dieser beiden Luftsäulen hervorgehen, auf beiden Seiten compensiren. Aber es wird sehr selten vorkommen, dass die Verhältnisse so sind, wie es diese Bedingungen erfordern. Gewöhnlich werden die Gewichte der Luftsäulen AC und BD ungleich gross sein, und da dann das Gleichgewicht nicht stattfinden kann, so entsteht eine Bewegung, in Folge deren die Luft in dem einen der beiden vertikalen Schächte herab- und in dem anderen wieder hinaufsteigt.

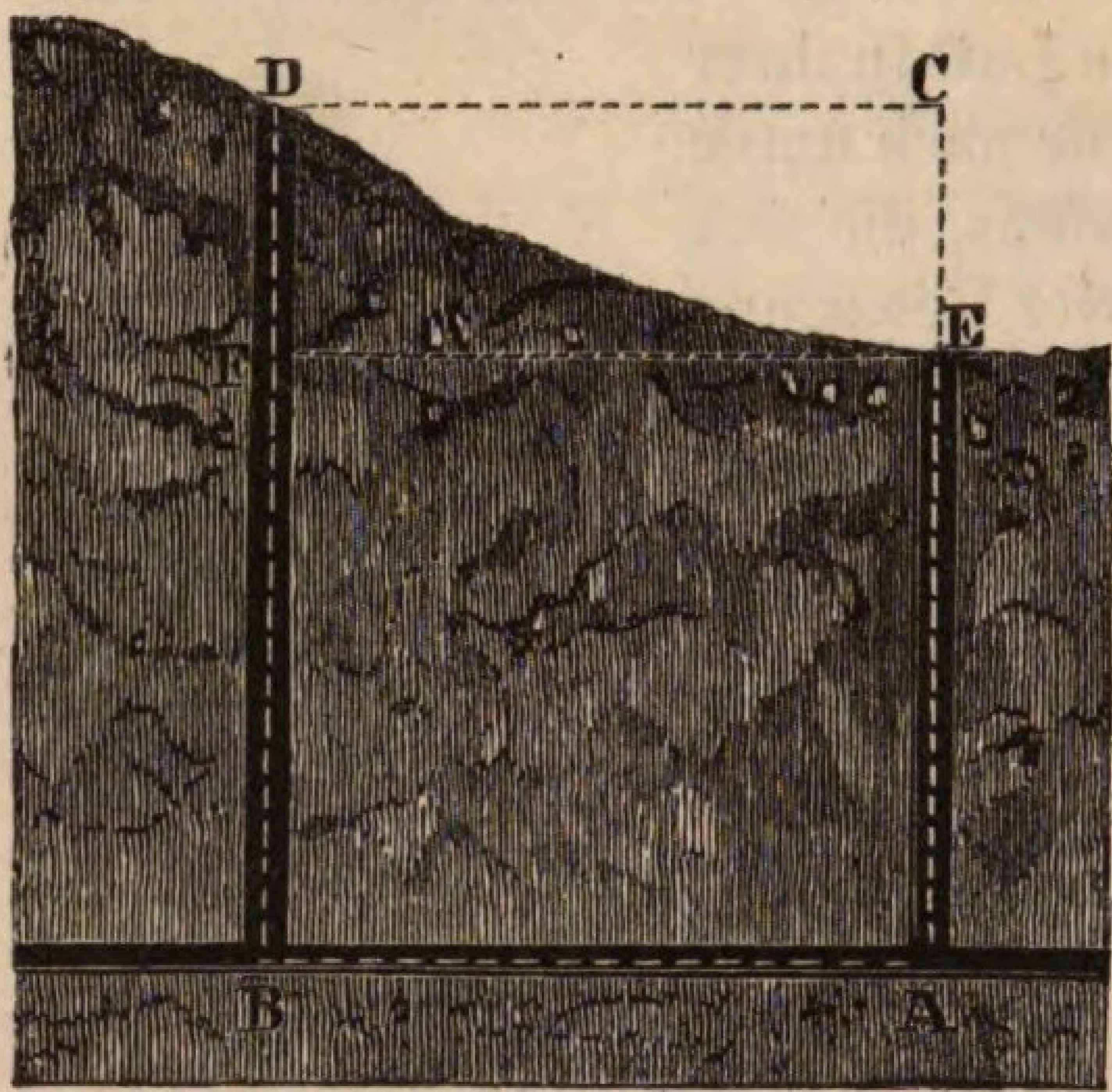


Fig. 383.

Setzen wir voraus, dass die Mündungen E, D der beiden Schächte, wie es Fig. 383 zeigt, nicht in gleicher Höhe gelegen seien. Dieser einzige Umstand schon reicht aus, um einen fortdauernden Luftstrom in das Innere des Stollens und wieder aus demselben heraus hervorzubringen, welcher Luftstrom im Sommer die entgegengesetzte Richtung als im Winter hat. Bekanntlich ist nämlich die Temperatur im Innern der Erde schon in geringer Tiefe, etwa 24^m unter der Oberfläche derselben, das ganze Jahr hindurch constant, und zwar im Sommer niedriger und im Winter dagegen höher als die Temperatur der atmosphärischen Luft. Die Temperaturen der Stücke AE und BF unserer beiden Luftsäulen, die unter der Horizontalebene gelegen sind, welche durch die tiefste der Mündungen der beiden Schächte gelegt ist, können als gleich vorausgesetzt werden, weil die Wände, mit denen diese Stücke in Verbindung sind, nahezu dieselbe Temperatur haben. Aber diess ist nicht mehr so bei den übrig bleibenden Stücken CE, DF; das erstere befindet sich in freier Luft, das andere unterhalb der Erdoberfläche. Im Sommer wird folglich dle Luftsäule CE wärmer sein als die DF und also nicht

so viel wiegen als diese; die Verschiedenheit der Gewichte der ganzen Luftsäulen AC und BD bringen also eine aufsteigende Bewegung in dem rechten und eine niedersteigende Bewegung in dem linken Schachte hervor. Indem die warme Luft von aussen in dem linken Schacht eintritt, wird sie auf ihrem Wege durch denselben abgekühlt, und die Bewegung setzt sich also in derselben Weise continuirlich fort. Im Winter ist die Luftsäule CE kälter als die DF; es folgt daraus ebenfalls eine Ungleichheit des Gewichtes der beiden Luftsäulen AC und BD; aber diese Ungleichheit findet jetzt im entgegengesetzten Sinne statt; sie ruft desshalb auch eine Bewegung in entgegengesetzter Richtung hervor; die so lange dauert, als die Temperatur ausserhalb des Stollens niedriger als im Innern desselben ist.

Um die Luft in den Bergwerken an den Orten, wo sich die Arbeiter befinden, immer wieder zu erneuern, ist es unerlässlich, Luftströme wie die, von denen wir eben gesprochen haben, hervorzubringen. Wenn daher die Bedingungen, unter denen ein natürlicher Luftwechsel, wie wir ihn eben beschrieben haben, möglich ist, nicht erfüllt sind, so muss man seine Zuflucht zu künstlichen Mitteln nehmen. Eines von diesen, welches am häufigsten angewandt wird, besteht darin, dass man in der Nachbarschaft des einen von den beiden vertikalen Schächten, die mit einander durch den Stollen in Verbindung stehen, ein kleines Feuer unterhält; die Gase, welche sich von diesem Feuer erheben, erfüllen den Schacht, und die dadurch hervorgebrachte Differenz in der Temperatur der beiden Luftsäulen, welche in den beiden Schächten enthalten sind, erzeugt den gewünschten Luftstrom. In den Kohlengruben ist es aber meist gefährlich, solche offene Feuer für den Luftwechsel anzubringen, weil die Luft, welche aus der Grube kommt, und von der ein Theil durch das Feuer streichen muss, häufig grosse Mengen Kohlenwasserstoffgase enthält, durch deren Entzündung eine Explosion, die sich plötzlich durch den ganzen Stollen verbreiten würde, hervorgebracht werden könnte. In diesem Fall kann man die Mündung eines der Schächte mit einem Kamin überbauen und an der Basis desselben einen sogenannten Wetterofen A (Fig. 384) anbringen, sodass die aus der Grube kommenden Gase nur mit der äusseren Fläche desselben in Berührung kommen.

Es kommt oft vor, dass die unterirdischen Räume, in welchen ein Luftwechsel hergestellt werden soll, nur durch einen einzigen Schacht mit der Atmosphäre in Verbindung stehen. In diesem Fall theilt man entweder den Schacht mittelst einer vertikalen Scheidewand in zwei Abtheilungen, oder man bringt nach der ganzen

Länge des Schachtes eine weite Röhre an, beides zu dem Zweck, um die Luft in der Tiefe durch zwei verschiedene Kanäle mit der freien Luft in Verbindung zu setzen. Bringt man es dann auf irgend einer Weise dahin, dass in den beiden Abtheilungen des Schachtes verschiedene Temperaturen bestehen, so ist der Vorgang offenbar ganz derselbe, als wenn zwei verschiedene Schächte vorhanden wären.

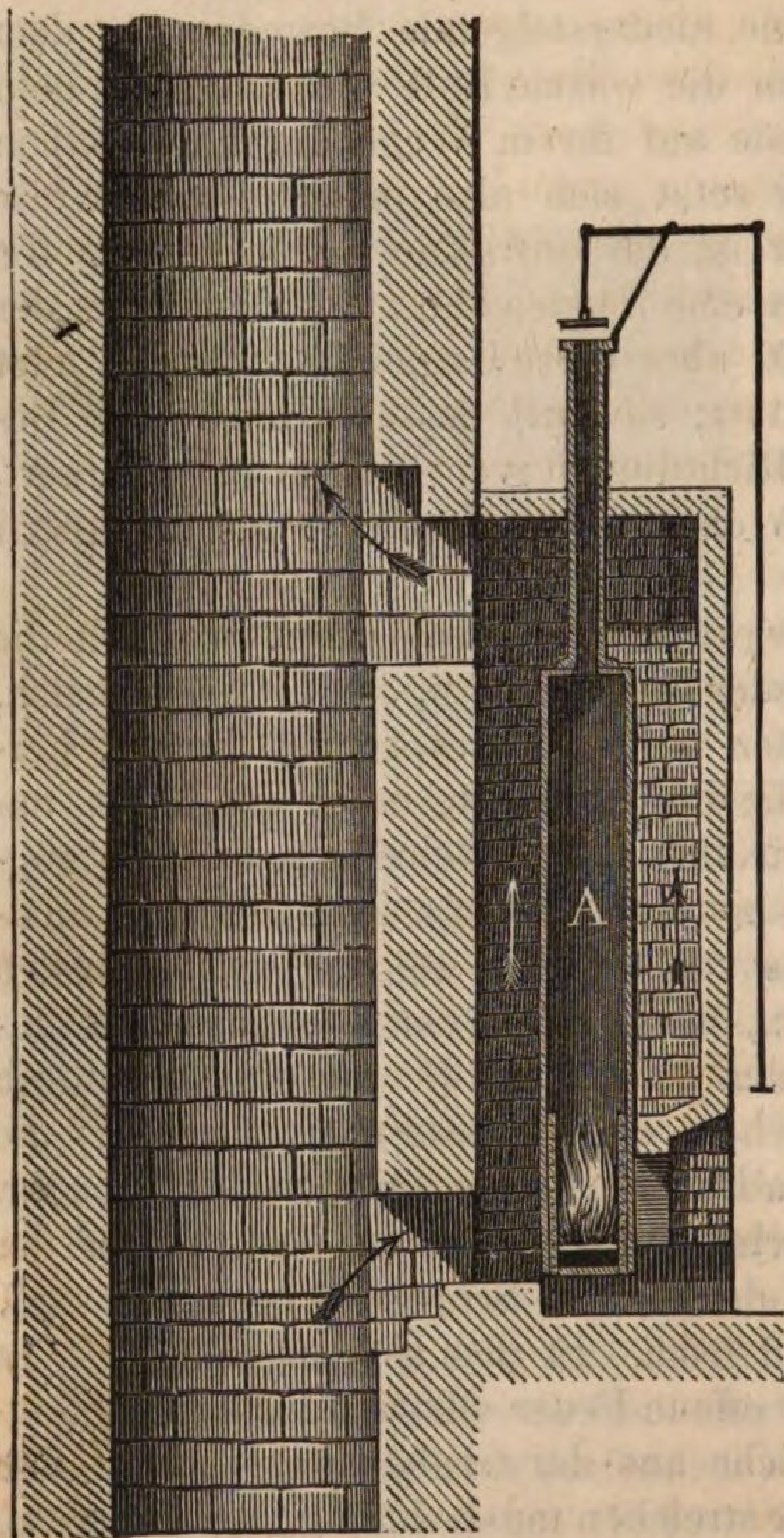


Fig. 384.

§. 280. **Zug in den Schornsteinen.**— Der Zug eines Schornsteins rührt von der Differenz her, welche zwischen der Dichtigkeit der Luft in seinem Innern und der in derselben Horizontalebene gelegenen äusseren Luft besteht. Denken wir uns einen Schornstein, der mittelst eines Kamins oder eines Ofens, der von innen heizbar ist, in ein Zimmer mündet. Die Luft in diesem Zimmer steht einerseits durch die Spalten der Thüren und Fenster, andererseits durch den Kamin mit der freien Luft in Verbindung und kann nur dann im Gleichgewicht sein, wenn alle ihre Punkte, die in der nämlichen Horizontalebene liegen, einerlei Druck erfahren, sei es nun, dass dieser Druck durch den einen oder durch den andern der eben besprochenen beiden Verbindungswege fortgepflanzt werde. Wenn die äussere Luft im Gleichgewicht ist, so sind die Drückungen in allen Punkten der Horizontalebene, die man sich oberhalb der oberen Oeffnung des Schornsteins denken kann, einander gleich; damit dasselbe auch für alle Punkte derjenigen Horizontalebene stattfindet, welche man durch das Innere des Zimmers und den untersten Theil des Schornsteins legt, ist es nöthig, dass man für die Luftsäule, welche zwischen diesen beiden Horizontalebenen liegt, das nämliche

Gewicht findet, ob man sie im Innern des Schornsteins oder ausserhalb desselben nimmt. Aber das kann nicht der Fall sein, sobald in dem Kamin oder Ofen Feuer brennt; durch die Wärme, welche dasselbe entwickelt, wird die Luft im Schornstein ausgedehnt, und die Luftsäule wiegt also, wenn sie in demselben genommen wird, weniger als die ausser demselben. Daraus folgt, dass das Gleichgewicht nicht stattfinden kann; so lange der erwähnte Temperaturunterschied und somit auch der Unterschied in der Dichtigkeit stattfindet, muss eine fortdauernde Bewegung bestehen, in Folge deren die Luft des Zimmers im Schornstein in die Höhe steigt, während von aussen durch die Spalten der Thüren und Fenster frische Luft zum Ersatz in's Zimmer dringt. Wenn das Zimmer von allen Seiten hermetisch geschlossen wäre, sodass die äussere Luft nicht eindringen könnte, so müsste der Schornstein nothwendig rauchen, weil der Luftstrom, von dem wir eben gesprochen haben, und der die lebhafte Verbrennung des Feuers unterhält und zugleich den Rauch mit sich fortführt, nicht entstehen könnte.

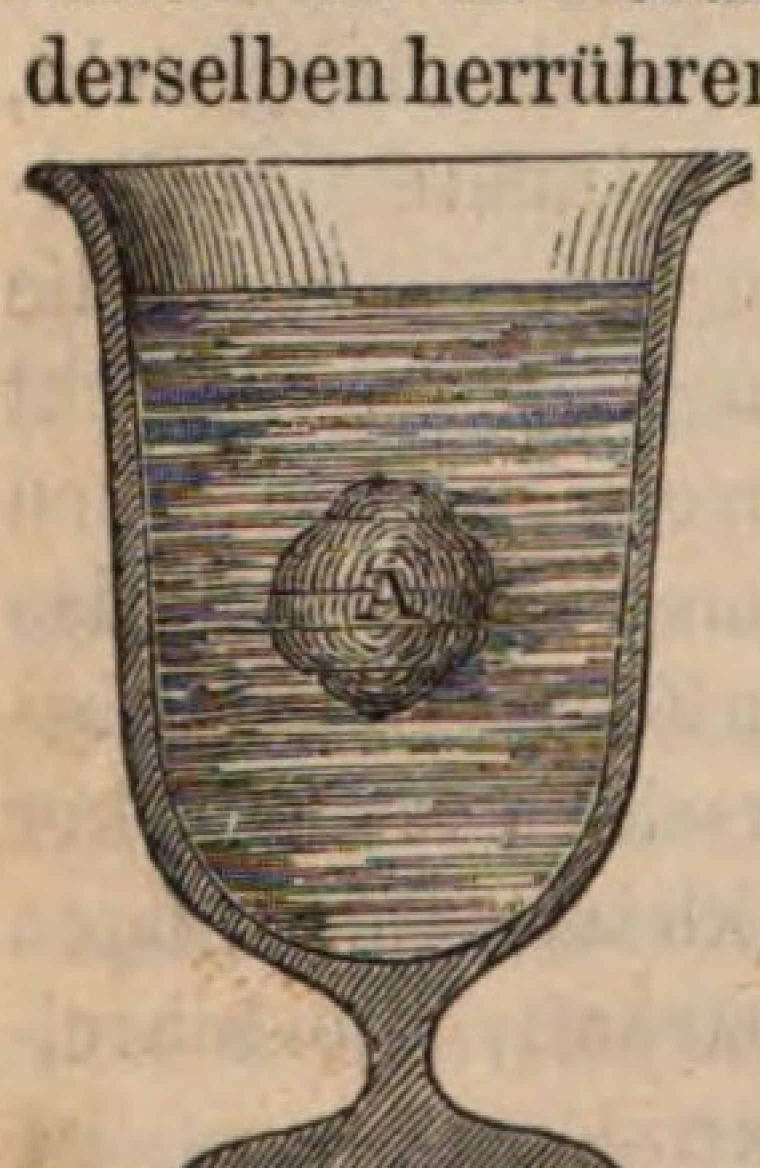
Wenn in zwei Zimmern, die mit einander in Verbindung stehen, zugleich Feuer gemacht wird, so kommt es häufig vor, dass in einem von beiden der Ofen oder Kamin raucht. Diess hat seinen Grund darin, dass die Spalten der Thüren und Fenster der Hindurchbewegung der Luft einige Schwierigkeit entgegensetzen, sodass sich die Luftmasse, welche in den beiden Zimmern enthalten ist, und welche ungehindert von dem einen in das andere übergehen kann, unter ähnlichen Umständen befindet wie die eines Stollens in einem Bergwerke. Die beiden Schornsteine, durch welche diese Luftmasse mit der atmosphärischen Luft in Verbindung steht, spielen die Rolle der beiden Schächte, welche das Innere des Stollens mit der Oberfläche der Erde verbinden (Fig. 383); sobald die Luftsäulen in diesen beiden Schornsteinen nicht gleiches Gewicht haben, so erzeugt sich ein aufsteigender Luftstrom in dem einen und ein abwärtssteigender in dem anderen derselben. Um das Rauchen zu verhindern, darf man nur in beiden Zimmern ein grosses Feuer machen; dadurch wird in jedem derselben ein starker Zug hervorgebracht, der bewirkt, dass durch die kleinen Oeffnungen der Thüren und Fenster eine Luftmenge hereinströmt, die hinreichend ist, um die beiden Schornsteine zu speisen.

Man begreift nach dem Vorhergehenden, dass der Zug um so stärker wird, je höher der Schornstein ist. Es gibt jedoch eine gewisse Grenze, über welche hinaus eine grössere Höhe des Schornsteins keine Vermehrung des Zugs mehr hervorbringt. Denn wenn auch die Kraft, mit welcher sich die im Innern eines Schornsteins

enthaltene Luftsäule erhebt, mit der Höhe des Schornsteins zunimmt, so wächst doch die Reibung, welche diese Luft in ihrer Bewegung erfährt, gleichfalls, und es kann sich offenbar wohl treffen, dass das, was man auf der einen Seite gewinnt, auf der anderen wieder verloren wird. Diess ist auch in der That der Fall. Es gewährt unter dem Gesichtspunkt des Zuges keinen Vortheil mehr, dem Schornstein eine übermässige Höhe zu geben.

Wenn in einem Schornstein längere Zeit kein Feuer gemacht worden ist, und die äussere atmosphärische Luft wird, nachdem es einige Tage kalt war, wieder wärmer, so beobachtet man, dass in dem Schornstein ein absteigender Luftstrom hervorgebracht wird, der sich durch einen Geruch nach Russ bemerklich macht, welcher sich in dem Zimmer verbreitet. Diess kommt, wie man leicht sieht, daher, dass die Luft im Innern des Schornsteins noch kälter ist, als die ausser demselben in dem nämlichen Niveau gelegene. In Folge ihrer grösseren Dichtigkeit ist desshalb das Gewicht einer Luftsäule im Schornstein grösser als das einer äusseren von derselben Höhe, und diess gibt offenbar zu einem Luftstrom Veranlassung, der die entgegengesetzte Richtung von dem hat, welcher hervorgebracht wird, wenn man Feuer in den Ofen oder Kamin macht. Die Luft geht durch die Spalten der Fenster und Thüren zum Zimmer hinaus und wird durch diejenige ersetzt, welche vom Schornstein herabkommt.

§. 281. **Das Archimedische Princip.** — Eine schwere, im Gleichgewicht befindliche Flüssigkeit übt auf alle Körper, mit denen sie in Berührung ist, Drückungen aus, die von dem Gewichte derselben herrühren. Wenn man also einen festen Körper A (Fig. 385) in einer Flüssigkeit untertaucht, so wird er auf allen Theilen seiner Oberfläche von dieser Flüssigkeit gedrückt; alle diese Drückungen können in eine Resultante vereinigt werden, die wir durch folgende Betrachtung ihrer Grösse, Richtung und Lage nach leicht auffinden können.


Fig. 385.

Setzen wir zuerst voraus, man habe blos eine im Gleichgewicht befindliche Flüssigkeitsmasse, also keinen Körper, der in sie getaucht ist. Aus derselben können wir uns offenbar ein Stück herausdenken, das genau die Form des Körpers A hat. Dieses Stück bleibt inmitten der Flüssigkeit in Ruhe, obgleich es schwer ist; es fällt nicht herab, offenbar weil es durch die umgebende Flüssigkeit gehalten wird. Denken wir uns nun, dass dieses Stück erstarre, ohne seine Dichtigkeit zu ändern,

d. h. dass seine Moleküle einfach ihre Eigenschaft der leichten Verschiebbarkeit gegen einander einbüssen, ohne jedoch ihre gegenseitige Stellung selbst dabei zu verändern, so ist klar, dass dadurch das Gleichgewicht nicht gestört wird. Wir haben somit einen festen Körper, der genau die Gestalt des Körpers A hat, und welcher inmitten der Flüssigkeit, welche ihn umgibt, durch die Drückungen, welche diese Flüssigkeit auf die verschiedenen Punkte seiner Oberfläche ausübt, schwebend erhalten wird. Diese verschiedenen Drückungen halten folglich dem Gewichte des festen Körpers, von dem wir sprechen, das Gleichgewicht; sie müssen also eine Resultante haben, welche diesem Gewichte gleich und gerade entgegengesetzt ist, d. h. diese Resultante muss, vertikal aufwärts gerichtet, durch den Schwerpunkt des Körpers gehen und gleich dem Gewichte des Körpers sein. Denken wir uns nun, dass das Flüssigkeitsstück, von dem bisher die Rede war, verschwinde und der Körper A an seine Stelle gesetzt werde, ohne dass dadurch in den übrigen Verhältnissen eine Aenderung eintritt, so ist klar, dass die Drückungen, welche die Flüssigkeit auf die ganze Oberfläche dieses Körpers A ausübt, die nämlichen sind wie diejenigen, welche vorhin das erstarrte Flüssigkeitsstück zu erleiden hatte, dessen Platz der Körper A einnimmt. Daraus folgt: Die Drückungen, welche von einer Flüssigkeit auf die Oberfläche eines festen Körpers A, der in sie eingetaucht ist, ausgeübt werden, haben eine Resultante, die vertikal von oben nach unten gerichtet, gleich dem Gewichte der von dem Körper verdrängten Flüssigkeit ist und durch den Schwerpunkt dieser verdrängten Flüssigkeitsmasse hindurchgeht. Dieses überaus wichtige Gesetz wurde schon von Archimedes entdeckt und trägt desshalb seinen Namen.

Die Resultante der Drückungen, welche ein Körper, der in einer schweren, im Gleichgewicht befindlichen Flüssigkeit eingetaucht ist, zu erleiden hat, sucht den Körper in der Flüssigkeit steigen zu machen, in die Höhe zu treiben; sie heisst desshalb auch gewöhnlich Auftrieb der Flüssigkeit; in Folge seines Gewichtes dagegen sucht der Körper zu fallen. Unter der gleichzeitigen Wirkung beider Kräfte wird folglich der Körper, welcher in einer Flüssigkeit untergetaucht ist, in dieser Flüssigkeit steigen oder fallen, je nachdem die erste dieser Kräfte grösser ist als die zweite, oder umgekehrt. In dem Falle, wo der Auftrieb des Körpers grösser ist als sein Gewicht, steigt der Körper in die Höhe, um eine Gleich-

gewichtslage einzunehmen, die wir später (§. 284) kennen lernen werden; wenn dagegen das Gewicht des Körpers den Auftrieb, d. h. das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit übertrifft, so sinkt der Körper in der Flüssigkeit unter, und zwar so lange, bis er auf ein Hinderniss stösst, das ihn am weiteren Fallen hindert; aber es ist klar, dass diese fallende Bewegung des Körpers nur durch den Ueberschuss seines Gewichtes über dem Auftrieb hervorgebracht wird; der Körper verhält sich ganz so, als wenn dieser Ueberschuss allein auf ihn wirken würde. Diess ist darunter zu verstehen, wenn man sagt, dass ein Körper, welcher in eine Flüssigkeit eingetaucht ist, so viel an seinem Gewichte verliert, als das Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmasse beträgt. — Wenn endlich das Gewicht des Körpers gerade gleich dem der verdrängten Flüssigkeit ist, so ist er in jeder Lage in der Flüssigkeit im Gleichgewicht, er schwebt in derselben.

§. 282. Das Archimedische Princip kann auf folgende Weise mittelst der hydrostatischen Wage durch den Versuch erwiesen werden.

Die hydrostatische Wage, deren Namen von dem Gebrauche herrührt, zu welchem sie bestimmt ist, zeichnet sich vor anderen gewöhnlichen Wagen nur durch eine Vorrichtung aus, welche gestattet, den Wagbalken mit den beiden Wagschalen nebst der Unterlage, auf welcher er ruht, nach Belieben heben oder senken zu können. Zu diesem Zweck wird der Wagbalken durch einen Stab getragen, welcher sich zum Theil im Innern einer hohlen Säule befindet, die auf dem Fusse der Wage befestigt ist (Fig. 386). Dieser Stab ist auf der einen Seite mit Zähnen, ähnlich denen einer Zahnstange, versehen und kann mittelst eines Triebes C auf und nieder bewegt werden; auf der entgegengesetzten Seite trägt der Stab ebenfalls Zähne, die aber die Gestalt von Sägezähnen haben, und in welche ein Sperrhacken D eingreift, der um eine, durch seine Mitte gehende Axe beweglich ist; eine kleine Feder sucht, indem sie auf das untere Ende dieses Sperrhackens wirkt, fortwährend das obere Ende desselben in Eingriff mit den Zähnen zu erhalten. Auf diese Art kann man den Stab, welcher den Wagbalken trägt, durch Drehung des Triebes C heben, ohne dass sich der Sperrhacken D dem entgegensetzt; dieser verhindert nur den Wagbalken wieder zurückzufallen, wenn man nicht mehr an dem Triebe C wirkt. Wenn man den Wagbalken wieder herablassen will, so drückt man an das untere Ende des Sperrhackens D. Dadurch wird die kleine Feder daselbst zurückgebogen, und das obere Ende

der Sperrklinke entfernt sich von den Zähnen des Stabes, welcher dadurch ungehindert herabgehen kann*).

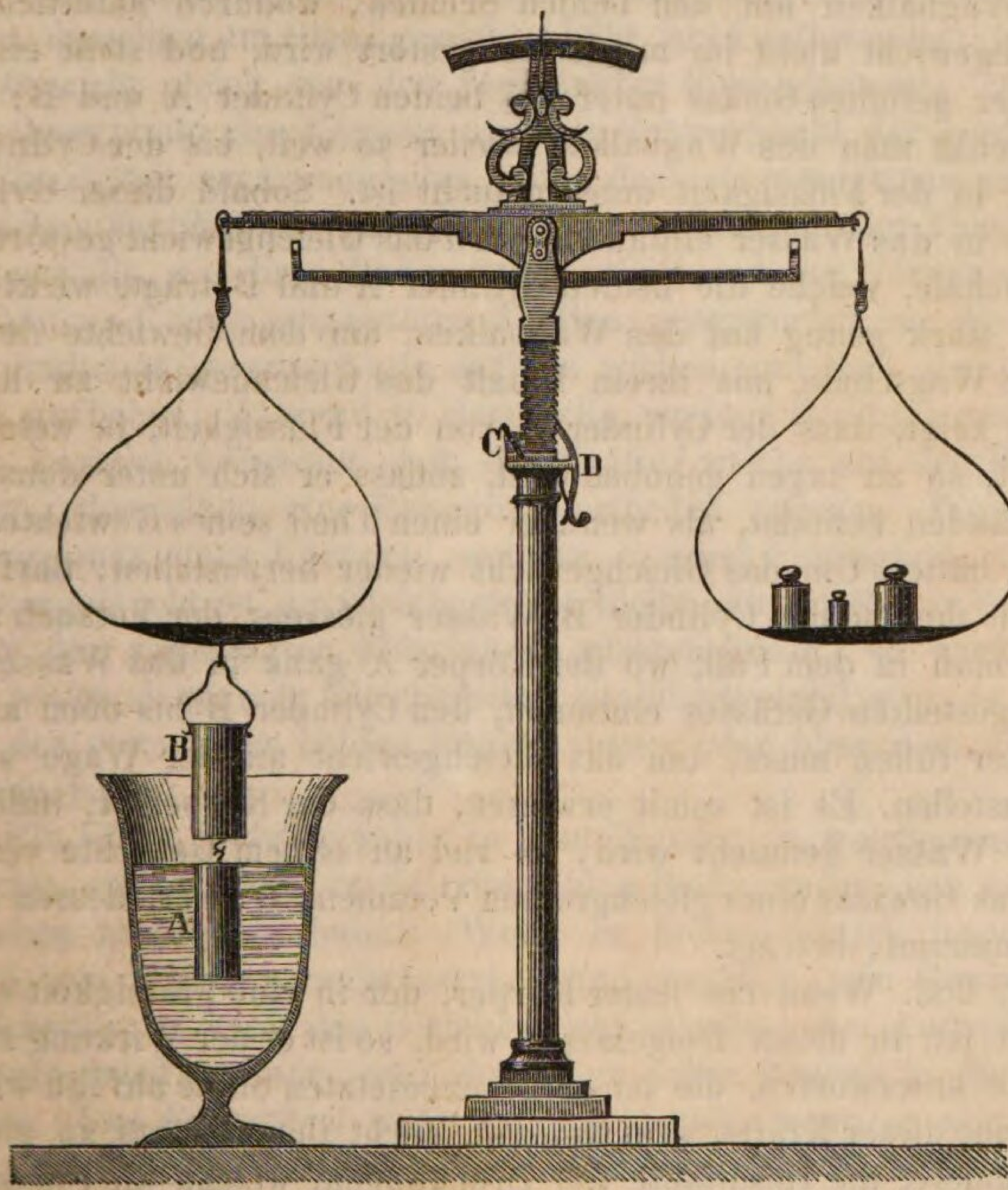


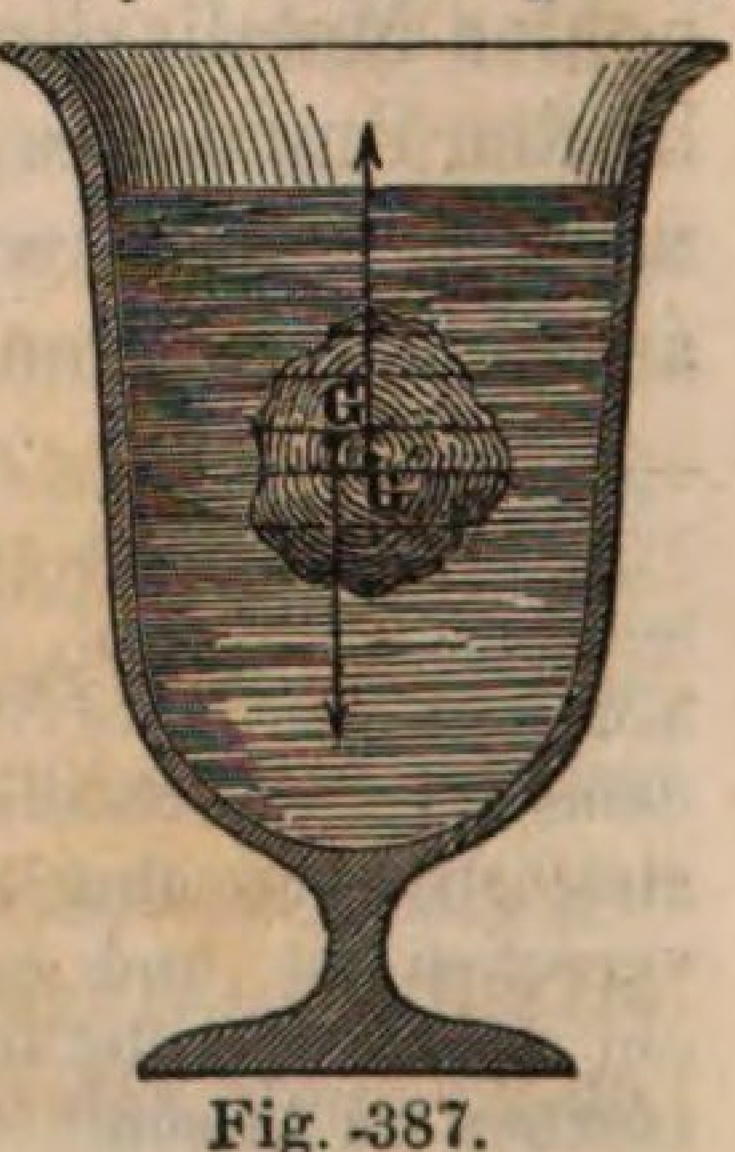
Fig. 386.

Sehen wir nun, wie man sich der hydrostatischen Wage bedient, um das Archimedische Princip zu beweisen. Man nimmt einen hohlen Metallcylinder B und einen massiven A, der genau in den hohlen Raum des ersteren hineinpasst. Diese beiden Cylinder hängt man, den massiven unter den hohlen, wie es die Figur zeigt, beide an einem Hacken unter der einen Wagschale der Wage auf und

*) Es ist nicht gerade nöthig, dass eine Wage die Einrichtung, wie sie hier beschrieben wurde, besitzt, um als hydrostatische Wage benützt werden zu können; jede gute Wage, wie z. B. die in Fig. 68 Seite 64 abgebildete, kann zu demselben Zweck dienen, wenn nur die eine ihrer Schalen durch eine andere, gleichschwere, aber kürzere ersetzt werden kann, die unten mit einem Häckchen versehen ist und so gestattet, einen Körper unter ihr aufzuhängen und in ein darunter gestelltes Gefäss mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit eintauchen zu lassen.

bringt dieselbe durch Gewichte, welche man in die andere Schale legt, in's Gleichgewicht. Nachdem diess geschehen ist, erhebt man den Wagbalken mit den beiden Schalen, wodurch natürlich das Gleichgewicht nicht im mindesten gestört wird, und stellt ein mit Wasser gefülltes Gefäss unter die beiden Cylinder A und B; hierauf senkt man den Wagbalken wieder so weit, bis der Cylinder A völlig in der Flüssigkeit untergetaucht ist. Sobald dieser Cylinder etwas in das Wasser eintaucht, wird das Gleichgewicht gestört; die Wagschale, welche die beiden Cylinder A und B trägt, wirkt nicht mehr stark genug auf den Wagbalken, um dem Gewichte der anderen Wagschale mit ihrem Inhalt das Gleichgewicht zu halten. Diess zeigt, dass der Cylinder A von der Flüssigkeit, in welche er taucht, so zu sagen gehoben wird, sodass er sich unter denselben Umständen befindet, als wenn er einen Theil seines Gewichtes verloren hätte. Um das Gleichgewicht wieder herzustellen, darf man nur in den hohlen Cylinder B Wasser giessen; der Versuch zeigt, dass man in dem Fall, wo der Körper A ganz in das Wasser des untergestellten Gefässes eintaucht, den Cylinder B bis oben an mit Wasser füllen muss, um das Gleichgewicht an der Wage wieder herzustellen. Es ist somit erwiesen, dass der Körper A, indem er unter Wasser getaucht wird, so viel an seinem Gewichte verliert, als das Gewicht eines gleichgrossen Volumens Wasser, dessen Stelle er einnimmt, beträgt.

§. 283. Wenn ein fester Körper, der in eine Flüssigkeit eingetaucht ist, in dieser freigelassen wird, so ist er der Wirkung zweier Kräfte unterworfen, die im entgegengesetzten Sinne auf ihn wirken. Die eine dieser Kräfte, sein Gewicht, sucht ihn abwärts zu ziehen; die andere, die Resultante der Drückungen, welche die Flüssigkeit auf seine Oberfläche ausübt, oder der Auftrieb dieser Flüssigkeit, sucht ihn dagegen in die Höhe steigen zu machen. Die erste hat ihren Angriffspunkt im Schwerpunkte G (Fig. 387) des Körpers; der Angriffspunkt der zweiten muss im Schwerpunkt G′ der verdrängten Flüssigkeit angenommen werden, da, wie man leicht sieht, ein fester Körper, den man sich durch Erstarrung eines gewissen Flüssigkeitsstücks entstanden denkt, in jeder Lage in der Flüssigkeit im Gleichgewicht gehalten wird. Wenn der eingetauchte Körper homogen, d. h. wenn seine Masse gleichmässig über sein ganzes Volumen vertheilt ist, so fällt sein Schwerpunkt G mit dem Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit zusammen;


Fig. 387.

diess ist im Allgemeinen nicht mehr der Fall, wenn der Körper nicht homogen ist.

Damit ein fester Körper, der in einer Flüssigkeit untergetaucht ist, in derselben im Gleichgewicht bleibt, ist es nothwendig: 1) dass sein Gewicht gleich dem der verdrängten Flüssigkeit ist; 2) dass der Schwerpunkt des Körpers und der Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit zusammenfallen, oder dass sie wenigstens auf der nämlichen Vertikallinie gelegen sind. Man sieht in der That, dass in dem Falle, wo diese Bedingungen erfüllt sind, der Körper zweien gleichen und entgegengesetzten Kräften unterworfen ist, die nach der nämlichen geraden Linie auf ihn wirken und sich also gegenseitig aufheben; während in dem Falle, wo jene Bedingungen nicht beide zugleich befriedigt sind, die Kräfte, welche auf den Körper wirken, demselben eine Bewegung ertheilen müssen. Wenn der Schwerpunkt eines Körpers, welcher in einer Flüssigkeit, in der er untergetaucht ist, im Gleichgewicht bleibt, nicht mit dem Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit zusammenfällt, so wird, wie man leicht sieht, sein Gleichgewicht stabil oder labil sein, je nachdem der erste jener beiden Punkte unter oder über dem zweiten gelegen ist.

Ein Fisch, welcher ruhig in dem Wasser, in welchem er sich befindet, stehen bleibt, erfüllt die beiden Bedingungen, von welchen wir eben gesprochen haben. Wenn er hierauf durch irgend ein Mittel sein Volumen vergrössert, ohne zugleich sein Gewicht zu vermehren, so wird das Gleichgewicht gestört; der Auftrieb des Wassers wird grösser, und der Fisch muss folglich in die Höhe steigen. Das Gegentheil findet natürlich statt, wenn er sein Volumen vermindert; denn mit seinem Volumen mindert sich zugleich auch der Auftrieb, und der Ueberschuss des Gewichts über den Auftrieb zieht das Thier abwärts. Diese Vermehrung und Verminderung ihres Volumens bringen gewisse Fische durch ein besonderes Organ, die sogenannte Schwimmblase, hervor. Diese besteht aus einer allseitig geschlossenen Hülle, welche Gas enthält. Das Volumen dieses Gases kann durch einen grösseren oder geringeren Druck, welcher von dem Fische auf die Blase ausgeübt wird, entsprechend vermindert werden, sodass sich das Thier durch diesen Druck allein, welchen es nach Belieben abändert, in dem Wasser, in dem es sich befindet, erheben und wieder senken kann.

Wenn man eine Weinbeere in ein Glas mit Champagner bringt, so sinkt sie alsbald zu Boden. Aber die Kohlensäure, welche sich fortwährend aus der Flüssigkeit entwickelt, setzt sich bald in Form von kleinen Bläschen ringsum auf die Oberfläche der Beere. Diese

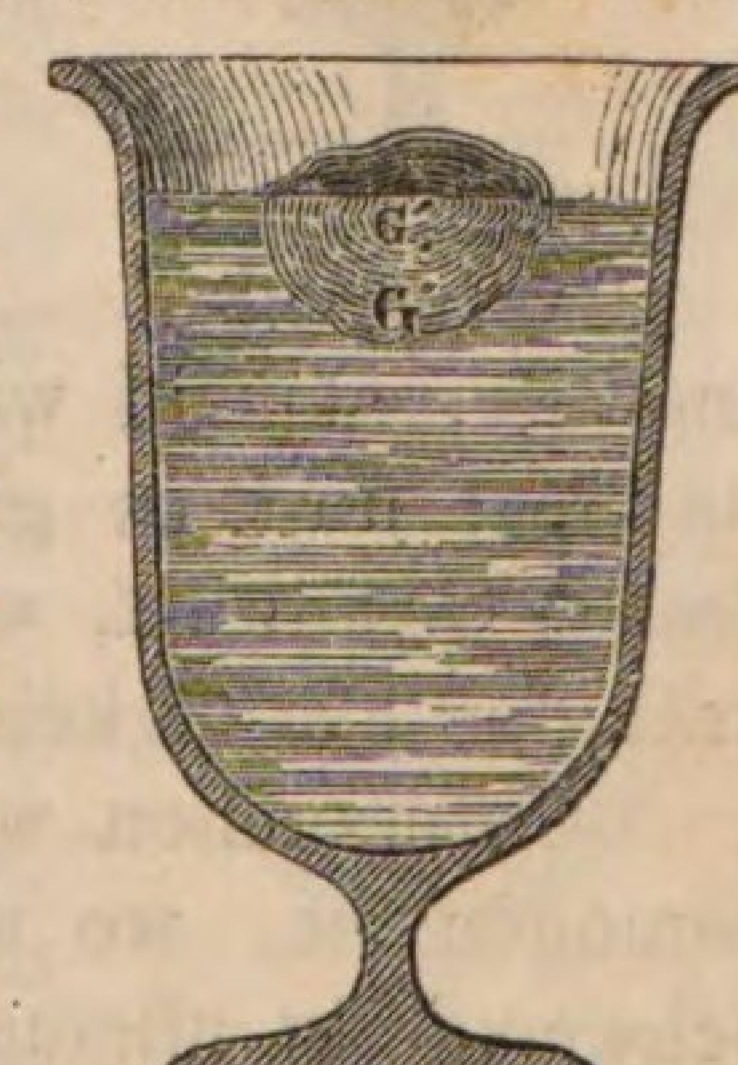
Gasblasen vergrössern das Volumen der Beere, ohne dass sie ihr Gewicht erheblich vermehren. Der Auftrieb der Flüssigkeit, welcher vorher kleiner war als das Gewicht der Beere, wird nun grösser als dieses, und die Weinbeere steigt bis zur Oberfläche der Flüssigkeit. Wenn man hierauf dieser Beere einen kleinen Anstoss ertheilt, um die Bläschen von Kohlensäure, welche an ihrer Oberfläche haften, davon zu trennen, so sieht man sie wieder auf den Boden des Glases zurücksinken; nach einiger Zeit erhebt sie sich von Neuem, und so kann der Versuch fortgesetzt werden, so lange die Entbindung der Kohlensäure aus dem Weine dauert.

§. 284. **Schwimmende Körper.** — Wir haben im Vorhergehenden gesehen, dass ein Körper, der in eine Flüssigkeit eingetaucht ist, in derselben emporsteigt, wenn sein Gewicht kleiner als das der verdrängten Flüssigkeit ist. Diess ist z. B. der Fall bei einem Stück Kork, das in Wasser getaucht wird. Der Körper steigt in der Flüssigkeit so lange, bis er an die Oberfläche derselben gelangt ist, und nimmt hier eine neue Gleichgewichtslage an, in welcher er theilweise noch in der Flüssigkeit eintaucht, während sein übriger Theil über die Oberfläche derselben emporragt; der Körper *schwimmt* auf der Flüssigkeit. Wir wollen nun die Bedingungen, unter welchen diese Gleichgewichtslage stattfindet, etwas näher entwickeln.

Wir können hiezu eine ganz ähnliche Betrachtungsweise anwenden, wie diejenige war, die uns zur Kenntniss des Archimedischen Princips führte. Da der Körper nur theilweise in die Flüssigkeit eintaucht, so erfährt er natürlich keinen so grossen Auftrieb, als wenn er ganz in derselben untergetaucht wäre. Wenn man sich den Körper entfernt und die Höhlung, welche dadurch in der Flüssigkeitsmasse entsteht, mit Flüssigkeit derselben Art ausgefüllt denkt, so wird diese Flüssigkeit, welche an die Stelle des eingetauchten Theils des Körpers gesetzt wurde, durch die Drückungen welche die umgebende Flüssigkeit auf ihre Oberfläche ausübt, im Gleichgewicht gehalten; da diese Drückungen aber dieselben sind wie diejenigen, welche der Körper zu erleiden hat, so folgt daraus, dass der Auftrieb, welchen ein Körper von einer Flüssigkeit, in welche er nur theilweise eingetaucht ist, erfährt, gleich dem Gewichte der durch den eingetauchten Theil des Körpers verdrängten Flüssigkeit ist; der Angriffspunkt der Kraft, durch welche dieser Auftrieb dargestellt wird, muss offenbar im Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit angenommen werden.

Wenn der Auftrieb einer Flüssigkeit auf einen Körper, der ganz in sie eingetaucht wurde, grösser als das Gewicht des Kör-

pers ist, so steigt derselbe in die Höhe, bis er die freie Oberfläche der Flüssigkeit erreicht. Wenn er nun fortfährt zu steigen, so vermindert sich derjenige Theil des Körpers, der in die Flüssigkeit eintaucht, mehr und mehr, und in demselben Maasse nimmt auch der Auftrieb der Flüssigkeit auf den Körper ab. Man begreift daraus, dass ein Moment kommen muss, wo dieser Auftrieb, der vorher grösser als das Gewicht des Körpers war, demselben gleich wird. Wenn daher der Körper in Folge seiner gewonnenen Geschwindigkeit fortfährt zu steigen, so nimmt die Kraft, welche ihn von unten nach oben treibt, noch mehr ab; sein Gewicht überwiegt folglich diese Kraft und zerstört die aufsteigende Bewegung, welche er besitzt, nach kurzer Zeit; der Körper sinkt wieder herab und nimmt so nach einigen Schwingungen eine Gleichgewichtslage an, in welcher er, wie man sagt, auf der Oberfläche der Flüssigkeit schwimmt. Damit dieses Gleichgewicht bestehen kann, ist offenbar erforderlich: 1) dass das Gesammtgewicht des Körpers gleich sei dem Gewichte der Flüssigkeit, welche sein eingetauchter Theil verdrängt; 2) dass der Schwerpunkt G′ (Fig. 388) des Körpers und der Schwerpunkt G der verdrängten Flüssigkeit in derselben Vertikalen gelegen sind.


Fig. 388.

Damit folglich ein Körper auf einer Flüssigkeit schwimmen kann, muss sein Gewicht kleiner als das eines gleichgrossen Volumens der Flüssigkeit sein; d. h. er muss ein geringeres specifisches Gewicht als die Flüssigkeit haben (§. 3). Auf Wasser schwimmen also nur solche Körper, deren specifisches Gewicht kleiner als Eins ist. Ebenso ist klar, dass ein schwimmender Körper um so weniger Flüssigkeit verdrängt und also um so höher über die freie Oberfläche der Flüssigkeit hervorragt, je geringer, bei gleichem Volumen, sein Gewicht ist, d. h. ein je kleineres specifisches Gewicht er hat.

§. 285. Die beiden Bedingungen, welche wir oben angegeben haben, sind nothwendig aber auch hinreichend, dass ein schwimmender Körper im Gleichgewicht ist; dieses Gleichgewicht kann aber noch, je nach den Umständen, stabil oder labil sein. Als wir oben das Gleichgewicht eines Körpers betrachteten, der in einer Flüssigkeit ganz untergetaucht wird (§. 283), haben wir gesagt, dass dieses Gleichgewicht stabil oder labil sei, je nachdem der Schwerpunkt des Körpers unter oder über dem der verdrängten Flüssigkeit liege; im gegenwärtigen Falle ist diess nicht mehr ganz so: das Gleichgewicht eines schwimmenden Körpers ist allemal stabil, wenn der

Schwerpunkt des Körpers unter dem der verdrängten Flüssigkeit liegt; aber diese Bedingung ist zur Stabilität des Gleichgewichts nicht mehr nothwendig erforderlich; diese kann möglicherweise auch noch stattfinden, wenn der Schwerpunkt des Körpers unter dem der verdrängten Flüssigkeit gelegen ist. Von der Richtigkeit dieser Behauptungen können wir uns auf das Leichteste überzeugen.

Nehmen wir zunächst den Fall, wo ein Cylinder von kleinem Durchmesser aus zwei Theilen von sehr verschiedener Dichtigkeit gebildet wird, die an ihren Enden miteinander vereinigt sind (Fig. 389).

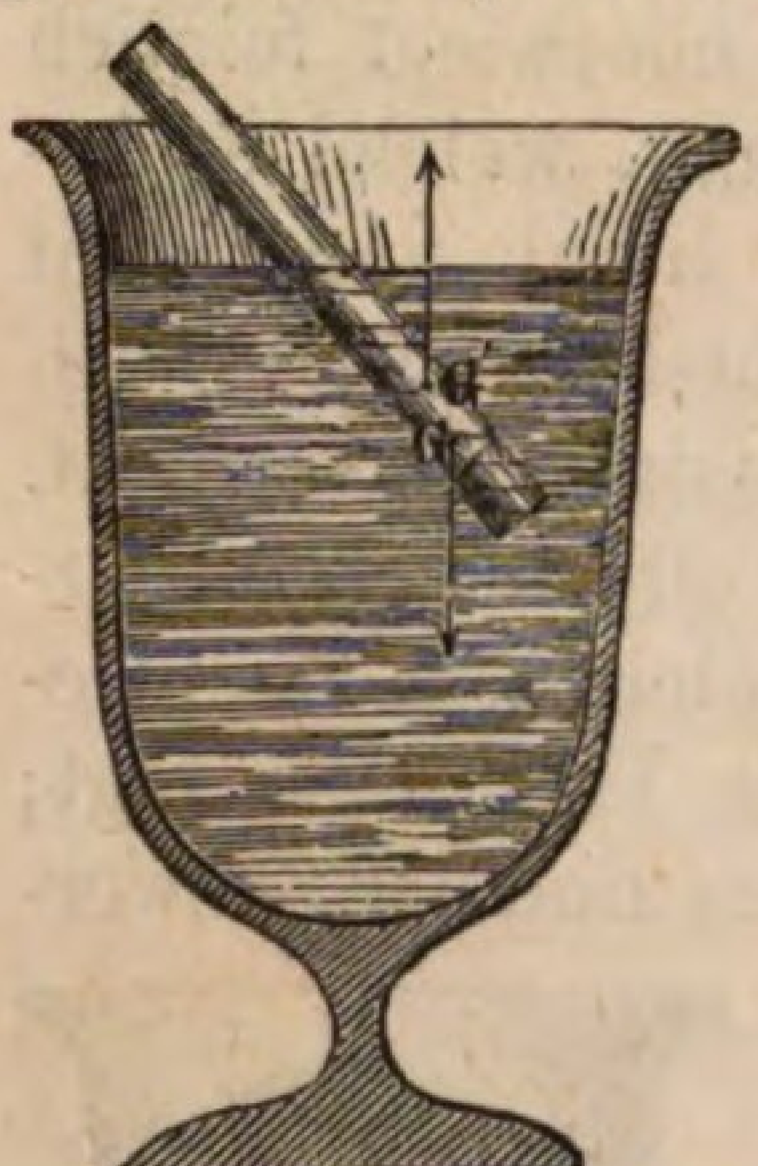


Fig. 389.

Derselbe sei so eingerichtet, dass er in einer Flüssigkeit in vertikaler Stellung schwimmt, und dass dabei sein Schwerpunkt unter dem der verdrängten Flüssigkeit liegt. Wenn man diesen Cylinder zur Seite neigt, wie es die Figur anzeigt, so wird er sich unter der Wirkung der beiden Kräfte, welche auf ihn wirken, und von denen die eine, sein Gewicht, in seinem Schwerpunkt G′ vertikal von oben nach unten, die andere dagegen, der Auftrieb der Flüssigkeit, im Schwerpunkt G′ der verdrängten Flüssigkeitsmasse vertikal von unten nach oben angreift, alsbald wieder erheben. Sein Gleichgewicht ist also ein stabiles; und es gilt diess offenbar für jeden Körper, wie auch dessen Gestalt ist, wenn nur sein Schwerpunkt unter dem der verdrängten Flüssigkeit liegt.

Untersuchen wir jetzt den Fall, wo der schwimmende Körper homogen ist, wo also, wie eine leichte Ueberlegung zeigt, sein Schwerpunkt allemal über dem der verdrängten Flüssigkeit liegen muss. Wir wollen dabei die Gestalt des Körpers, eines Stücks Korks z. B., das auf Wasser schwimmt, als eine sehr einfache, als die eines niedrigen rechtwinckeligen Parallelepipedums (Fig. 390) voraussetzen. Dieses Stück Kork stellt sich natürlich so, dass seine beiden grössten Seitenflächen horizontal sind; der eingetauchte Theil desselben wird folglich ebenfalls die Form eines rechtwinkeligen Parallelepipedums haben. Die Schwerpunkte G und G′ des Körpers und der verdrängten Flüssigkeit liegen in den Mittelpunkten der entsprechenden Parallelepipeda; der erste G nothwendig über dem zweiten G′. Nichtsdestoweniger kehrt das Stück Kork, wenn es etwas, gleichviel auf welche Seite, geneigt wird, wieder in seine ursprüngliche Lage zurück; das Gleichgewicht in dieser Lage ist also stabil. Der Grund davon ist folgender: Der Schwerpunkt G des Korkstücks behält seine Lage im Innern dieses Körpers

bei, wie auch die Stellung desselben verändert werden möge. Wenn dasselbe bei dem Schwerpunkt G' der verdrängten Flüssigkeit der Fall wäre, d. h. wenn derselbe stets mit einem und demselben Punkt des Korkstücks zusammenfallen würde, so würde bei einer Neigung dieses Körpers auf irgend eine Seite die Linie GG' gleichfalls eine schiefe Lage erhalten; und da die Kraft in G von oben nach unten und die in G' von unten nach oben wirkt, so würden diese Kräfte das Korkstück umwerfen, um es in eine andere Gleichgewichtslage zu führen. Aber dem ist nicht so: Sobald das Korkstück aus seiner Gleichgewichtslage gebracht wird, ändert die Flüssigkeit, welche es verdrängt, ihre Gestalt; der Schwerpunkt dieser Flüssigkeit nimmt also eine andere Lage innerhalb des Körpers ein, als vorher. Wenn der schwimmende Körper nach links geneigt wird (Fig. 391), so wird der Punkt G' nicht allemal auf die rechte Seite der durch den Punkt G gezogenen Vertikalen versetzt, wie es sein müsste, wenn er eine unveränderliche Lage im Innern des festen Körpers einnehmen und daher dem Körper in seiner Bewegung folgen würde; der Punkt G' kann vielmehr auch in vielen Fällen auf die linke Seite dieser Vertikalen zu liegen kommen (s. d. Fig.), und wenn diess der Fall ist, so suchen offenbar die Kräfte, welche an den Punkten G und G' wirken, den schwimmenden Körper in die Gleichgewichtslage wieder zurückzuführen, aus welcher er gebracht worden ist.

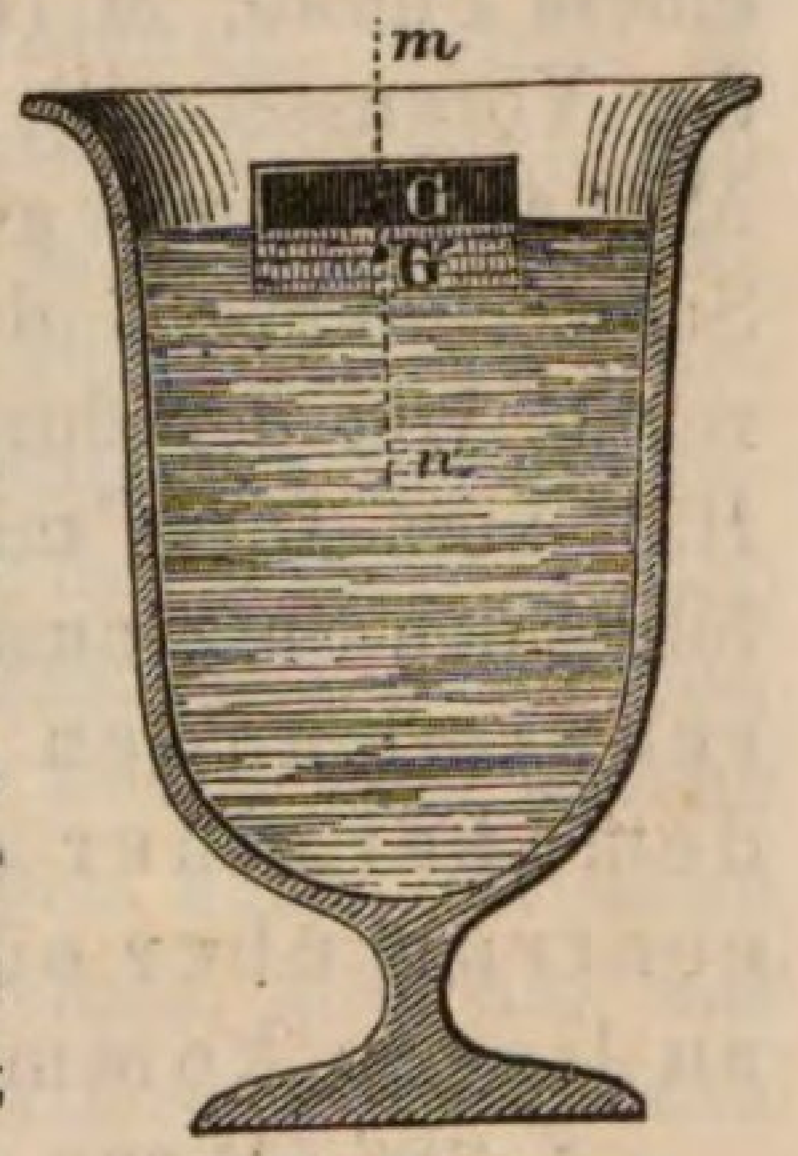


Fig. 390.

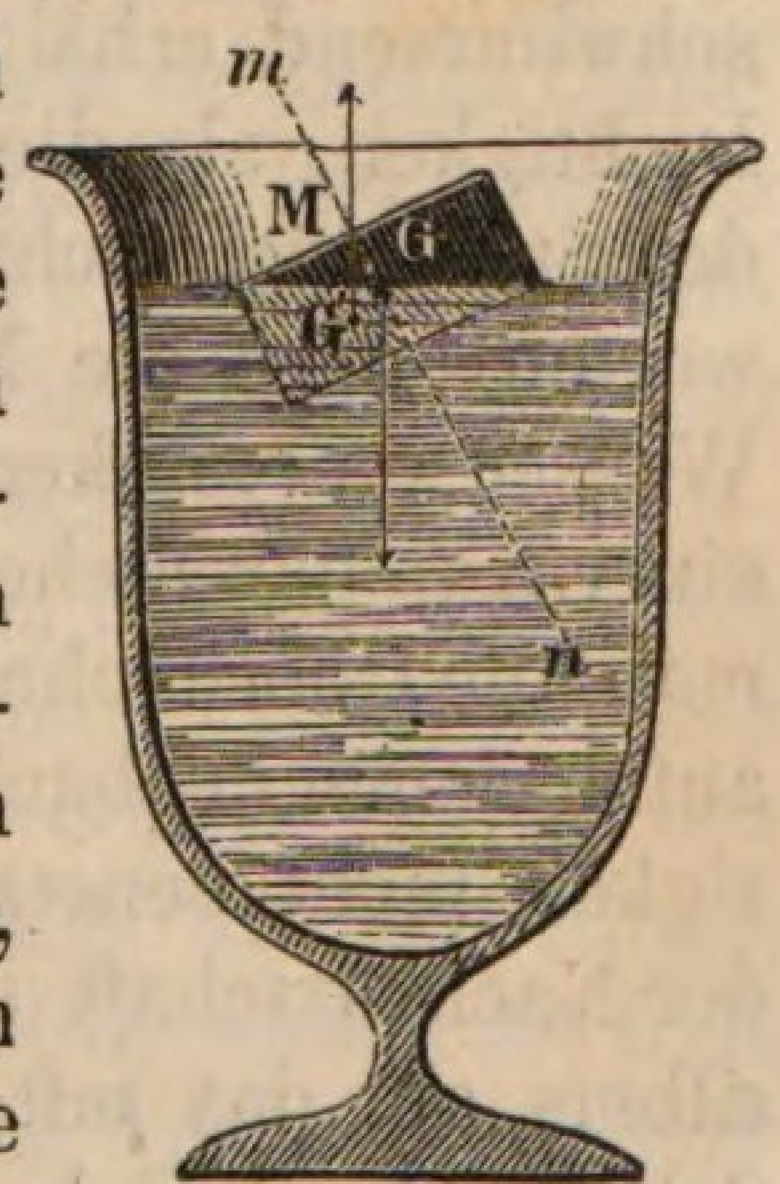


Fig. 391.

Es kommt also darauf an, ob der Schwerpunkt G' der verdrängten Flüssigkeit, wenn der schwimmende Körper ein wenig auf die Seite, etwa auf die linke, geneigt wird, links oder rechts von der Vertikalen, welche durch den Schwerpunkt G des Körpers hindurchgeht, zu liegen kommt. Im ersteren Fall ist die Gleichgewichtslage des Körpers eine stabile, im zweiten dagegen labil. Wenn der schwimmende Körper eine Mittellinie mn (Fig. 390 und 391) hat, die in der Gleichgewichtslage vertikal gerichtet ist, so liegen in dieser Lage die Schwerpunkte G und G' auf jener Mittellinie. Bei einer Neigung des Körpers nach irgend einer Seite, z. B. nach links, wird, wie leicht einzusehen ist, der Schwerpunkt G' der verdrängten Flüssigkeit stets auf die linke Seite der Mittellinie mn geführt;

die von ihm aus vertikal aufwärts gezogene Linie wird daher diese Mittellinie, die zugleich mit dem Körper geneigt wurde, stets in einem Punkte M (Fig. 391) treffen. Dieser Punkt, den man, unter der Voraussetzung einer nur sehr geringen Neigung des Körpers, Metacentrum genannt hat, liegt offenbar über oder unter dem Schwerpunkte G des Körpers, je nachdem der Punkt G′ links oder rechts von der durch diesen Punkt G gezogenen Vertikalen liegt. Hält man Diess mit dem Vorigen zusammen, so kann man leicht folgenden Satz aussprechen: Die Gleichgewichtslage eines schwimmenden Körpers ist stabil oder labil, je nachdem, bei einer geringen Neigung desselben, das Metacentrum über oder unter den Schwerpunkt des Körpers zu liegen kommt.

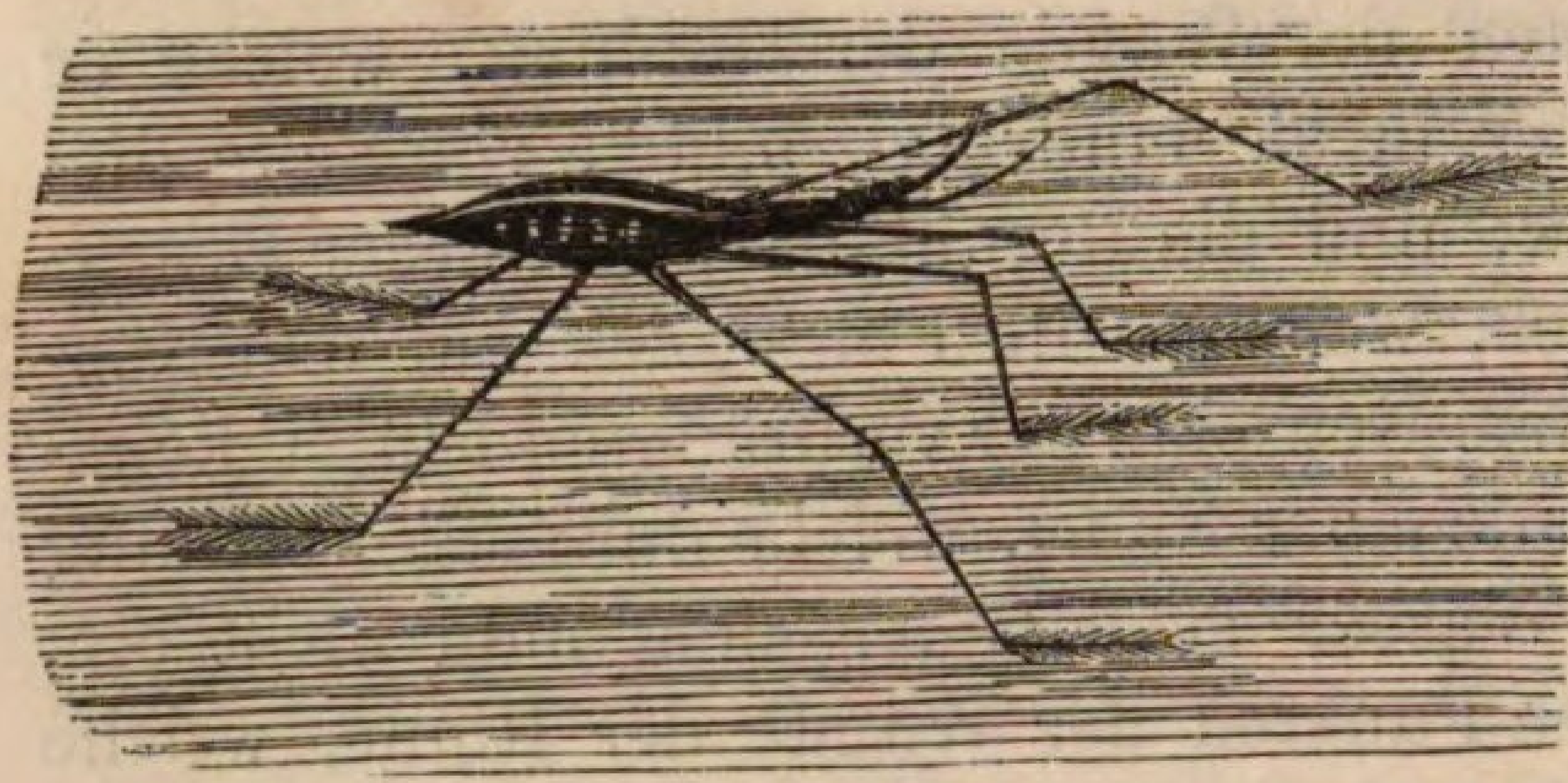
§. 286. Wenn man eine Nähnadel einigemal zwischen den Fingern durchzieht, um sie ein wenig zu befetten, und man legt sie hierauf sorgfältig auf die Oberfläche des Wassers in einem Gefässe, so kann man es dahin bringen, dass sie sich auf dieser Oberfläche schwimmend erhält, wie wenn sie aus einem Stoffe von geringerer Dichtigkeit, als die des Wassers ist, bestünde. Aber bekanntlich ist der Stahl viel dichter als das Wasser, und man sollte daher erwarten, dass die Nadel bei dem oben beschriebenen Versuch im Wasser untersinken würde. Diese scheinbare Anomalie rührt von einer Kapillarerscheinung her, die hier mit in's Spiel kommt. Wenn man die Oberfläche des Wassers, auf welchem die Nadel schwimmt, aufmerksam beobachtet, so sieht man, dass die Nadel von der Flüssigkeit nicht benetzt wird; die Oberfläche des Wassers nimmt in der Nachbarschaft der Nadel eine ähnliche Form wie die des Quecksilbers an, das mit einem Streifen Glas in Berührung ist (Fig. 348, Seite 451). In Folge der Kapillardepression, die zwischen der mit einer dünnen Fettschichte überzogenen Nadel und dem Wasser stattfindet, bildet sich eine Art von Rinne auf der Oberfläche der Flüssigkeit, auf welcher die Nadel liegt; dadurch wird das Volumen der Flüssigkeit, welche verdrängt wird, grösser als das der Nadel selbst, und es ist nun begreiflich, dass das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit gleich dem der Nadel sein kann. Diese Nadel befindet sich also unter denselben Umständen als ein Körper von demselben Gewicht, dessen Volumen mehr als hinreichend ist, die ganze Rinne, von der wir eben gesprochen haben, auszufüllen; dieser Körper würde weniger dicht als das Wasser sein und folglich, dem Archimedischen Princip entsprechend, auf der Oberfläche desselben schwimmen.

Diese Vergleichung der Nadel mit einem Körper von geringerer Dichtigkeit, welcher die ganze Rinne, die durch die Kapillarität

hervorgebracht wird, vollständig erfüllt, könnte vielleicht nicht ganz gerechtfertigt erscheinen. Ein auf dem Wasser schwimmender Körper erhält in allen Punkten der Wände der Höhlung, welche er in der Flüssigkeit, indem er in sie eindringt, bildet, von Seite dieser Flüssigkeit einen Druck; und die Resultante aller dieser Drückungen ist eben der Auftrieb, welchen die Flüssigkeit auf den Körper ausübt, und welcher dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeitsmasse gleich ist. In dem Falle einer Nadel, welche durch die Wirkung der Kapillarität auf dem Wasser schwimmt, sieht man nicht ein, wie die Flüssigkeit in allen Punkten der Wände der Rinne, welche gebildet wird, einen Druck auf die Nadel ausüben kann, da diese nur einen Theil des Rauminhalts der Rinne ausfüllt und nur mit einem geringen Theil der Wände derselben in Berührung steht. Man kann daher wohl fragen, ob es richtig ist, wenn man sagt, dass auch in diesem Fall der Auftrieb des Wassers auf die Nadel dem Gewichte der Flüssigkeit, welche die ganze Rinne ausfüllen würde, gleich ist. Um diese Schwierigkeit zu heben, denken wir uns in der Flüssigkeitsmasse, welche die Nadel trägt, einen vertikalen Cylinder von solcher Breite und Dicke, dass er mit seinem obersten Theil die Nadel sammt der an dieser gebildeten Rinne gerade umschliesst; unten endige der Cylinder in einer Horizontalebene, die in beliebiger Entfernung unter der freien Oberfläche durch die Flüssigkeit gelegt wird. Das Gleichgewicht der ganzen Flüssigkeitsmasse erfordert offenbar, dass der Inhalt dieses Cylinders auf seine Basis denselben Druck ausübt, ob die Nadel sich auf der Oberfläche des Wassers befindet, oder ob sie davon abgehoben und die Rinne, welche sie gebildet hat, mit Wasser ausgefüllt wird, sodass die freie Oberfläche der Flüssigkeit wieder in ihrer ganzen Ausdehnung horizontal ist. Daraus folgt aber klar, dass das Gewicht der Nadel gleich dem Gewichte der Flüssigkeitsmasse sein muss, welche die von jener gebildete Rinne auszufüllen im Stande ist, oder auch, dass der Auftrieb der Flüssigkeit auf die Nadel gleich ist dem Gewichte der gesammten Flüssigkeitsmasse, welche theils durch die Nadel selbst, theils durch die Wirkung der Kapillarität, welche ihre Gegenwart hervorruft, verdrängt wird.

Auf dieselbe Art wie die eben behandelte Erscheinung kann es erklärt werden, wie gewisse Insekten auf der Oberfläche des Wassers gehen können (Fig. 392), ohne dass ihre Füsse in die Flüssigkeit eindringen. Die Füsse dieser Insekten befinden sich nämlich unter solchen Umständen, dass sie vom Wasser nicht benetzt werden. Wenn sie daher mit der Oberfläche der Flüssigkeit in Berührung kommen, so rufen sie eine Kapillardepression hervor, und das

Insekt ist im Gleichgewicht, wenn die Höhlungen welche an seinen verschiedenen Füssen gebildet werden, zusammen so gross sind, dass das Gewicht der Wassermasse, welche sie alle ausfüllen würde, gleich dem Gewichte des Insekts ist.


Fig. 392.

§. 287. **Anwendung des Archimedischen Princips zur Bestimmung des specifischen Gewichtes fester und flüssiger Körper.** — Das Archimedische Princip liefert ein sehr einfaches Mittel, die Dichtigkeit oder das specifische Gewicht eines festen oder flüssigen Körpers zu bestimmen, d. h. das Verhältniss des Gewichts eines Körpers zu dem Gewichte eines gleichgrossen Volumens Wasser zu finden (§. 3). Zu diesem Zwecke bedient man sich der hydrostatischen Wage (Fig. 386, Seite 507).

Um das specifische Gewicht eines festen Körpers zu bestimmen, hängt man denselben mittelst eines sehr feinen Fadens unter die eine Wagschale und legt auf die andere so viele Gewichte, bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Auf diese Weise erhält man das Gewicht des Körpers ganz so, als wenn man ihn, anstatt ihn an den Hacken unter die Schale zu hängen, auf die Schale gelegt hätte. Indem man hierauf so verfährt, wie es in §. 282 beschrieben worden ist, lässt man den Körper in ein unter die Wagschale gesetztes Gefäss mit Wasser tauchen. Man wird sofort sehen, dass das Gleichgewicht gestört wird, und um es wieder herzustellen muss man einen Theil der Gewichte, welche dem Körper das Gleichgewicht hielten, wieder wegnehmen. Die übrig bleibenden geben das Gewicht des Körpers, wenn er in Wasser taucht, d. h. das Gewicht dieses Körpers, vermindert um das Gewicht eines gleichgrossen Volumens Wasser. Wenn man folglich das Gewicht des Körpers durch den Gewichtsverlust, welchen er erfährt, wenn er in Wasser eingetaucht wird, dividirt, so erhält man das specifische Gewicht oder die Dichtigkeit des Körpers. Wenn z. B. der Körper, dessen specifisches Gewicht bestimmt werden soll, ausserhalb des Wassers $25^{gr},72$ wiegt, in Wasser getaucht aber nur $18^{gr},37$, so beträgt sein Gewichtsverlust im Wasser $7^{gr},35$, und das specifische Gewicht dieses Körpers ist folglich $\frac{25,72}{7,35}$ oder nahezu gleich 3,5.

Das oben beschriebene Verfahren setzt voraus, dass der Körper, dessen specifisches Gewicht bestimmt werden soll, im Wasser untersinkt, und dass er sich in demselben nicht auflöst. Wenn der Körper leichter als ein gleichgrosses Volumen Wasser ist und daher auf dem Wasser schwimmen würde, so muss man ihn mit einem anderen, schwereren Körper verbinden, der ihn unter die Oberfläche der Flüssigkeit hinabzieht. Natürlich muss der Gewichtsverlust dieses Hülfskörpers im Wasser besonders bestimmt und von dem gesammten Verlust der beiden Körper abgezogen werden, um den des gegebenen Körpers allein zu erhalten. Wenn aber der feste Körper im Wasser auflöslich ist und daher nicht in dasselbe getaucht werden darf, so bestimmt man seinen Gewichtsverlust in einer anderen Flüssigkeit, in der er sich nicht auflöst, und deren specifisches Gewicht man kennt. Dieser Gewichtsverlust verhält sich dann zu dem, welchen der Körper im Wasser erleiden würde, wie das specifische Gewicht der Flüssigkeit zu Eins, woraus der Gewichtsverlust des Körpers im Wasser berechnet werden kann.

Um das specifische Gewicht einer Flüssigkeit zu bestimmen, nimmt man irgend einen festen, in dieser Flüssigkeit unlöslichen Körper, am besten ein Stück Glas, und hängt ihn unter die eine Schale der hydrostatischen Wage; nachdem man diesen Körper gewogen hat, bestimmt man die Gewichtsverluste, welche er erfährt, wenn er einmal in Wasser und dann in die Flüssigkeit taucht, deren Dichtigkeit bestimmt werden soll. Diese Gewichtsverluste sind bezüglich die Gewichte einer Menge Wasser und einer Menge der betrachteten Flüssigkeit, die alle beide dasselbe Volumen wie der angewandte feste Körper haben. Wenn man folglich den zweiten Gewichtsverlust durch den ersten dividirt, so erhält man das Verhältniss des Gewichts eines gewissen Volumens der vorgelegten Flüssigkeit zum Gewichte eines gleichgrossen Volumens Wasser, d. h. die Dichtigkeit oder das specifische Gewicht dieser Flüssigkeit.

Das Gewicht eines Volumens Wasser, das gleich dem Volumen des Körpers ist, dessen specifisches Gewicht bestimmt werden soll, ändert sich mit der Temperatur des Wassers. Es kann desshalb die Dichtigkeit des Körpers nur dann bestimmt angegeben werden, wenn man das Wasser, dessen man sich zur Vergleichung bedient, als von bestimmter Temperatur voraussetzt; als diese Temperatur nimmt man gewöhnlich die, bei welcher das Wasser seine grösste Dichtigkeit hat, nämlich $4^{0},1$ C. Ausserdem ist nicht zu vergessen, dass auch die Dichtigkeit des Körpers selbst mit der Temperatur sich ändert, und dass man also streng genommen nur von der Dichtigkeit eines Körpers bei einer gewissen Temperatur reden

kann. Wenn man folglich die Dichtigkeit eines festen oder flüssigen Körpers auf die oben angegebene Weise gefunden hat, so muss das erhaltene Resultat noch corrigirt werden, wenn die Temperatur des angewandten Wassers nicht die war, welche man in der Begriffsbestimmung des specifischen Gewichts angenommen hat; das so corrigirte Resultat selbst gilt aber natürlich dann nur für die Temperatur, welche der Körper während der Bestimmung seiner Dichtigkeit besass. Wir wollen hier nicht näher auf die Art und Weise eingehen, wie diese Correction angebracht wird, und verweisen in dieser Beziehung auf die physikalischen Werke. Nur das wollen wir noch beifügen, dass in einer grossen Zahl von Fällen diese Correctionen nicht nothwendig sind, und dass man sich selbst in vielen praktischen Anwendungen statt chemisch reinen destillirten Wassers gewöhnlichen Wassers bedienen kann. Der Fehler, welcher dadurch begangen wird, ist immer sehr klein, und der Grad der Annäherung, mit welcher die Dichtigkeit des Körpers erhalten wird, gewöhnlich hinreichend. Diess ist z. B. der Fall, wenn man die Dichtigkeit eines Körpers sucht, um sich derselben zur annähernden Berechnung des Gewichts eines grossen Volumens des Körpers zu bedienen, wie wir das bei dem Obelisken von Luxor (§. 164) gethan haben.

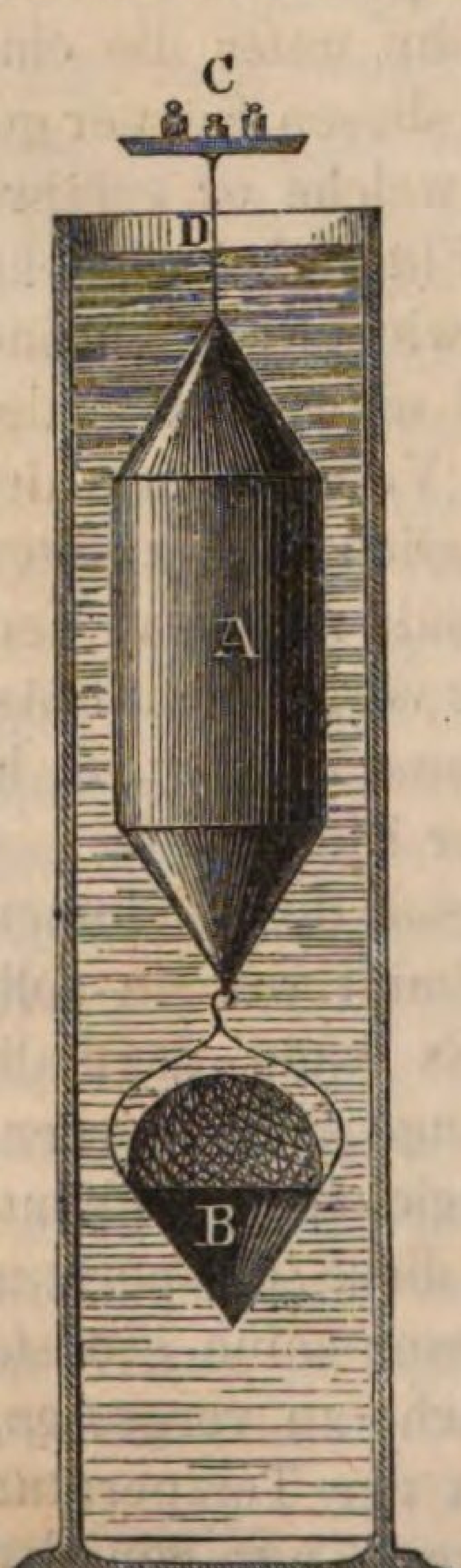


Fig. 393.

§. 288. **Aräometer.** — Das specifische Gewicht der Körper kann, ausser mit der hydrostatischen Wage, auch noch mittelst besonderer Instrumente bestimmt werden, die man mit dem Namen Aräometer bezeichnet. Man unterscheidet Aräometer mit constantem Volumen oder Gewichtsaräometer und Aräometer mit constantem Gewicht oder Scalenaräometer.

Im Allgemeinen sind die Aräometer Instrumente, die so eingerichtet sind, dass sie sowohl auf Wasser, wie auf anderen Flüssigkeiten schwimmen können. Diejenigen, welchen man den Namen Aräometer mit constantem Volumen gibt, müssen bei ihrem Gebrauch jedesmal mit so viel Gewichten belastet werden, dass sie in die Flüssigkeit stets gleichtief eintauchen, also immer ein und dasselbe Volumen Flüssigkeit verdrängen. Die Fig. 393 zeigt ein solches Aräometer. Es besteht aus einem hohlen und leichten Körper A, der unten einen schweren Körper B trägt, während an seinem oberen Theil mittelst eines dünnen

Stabes eine Schale C befestigt ist. Auf diesem Stab ist ein Punkt D angegeben, den man gewöhnlich Marke nennt. Wenn man dieses Aräometer in ein mit Wasser gefülltes Gefäss bringt, so schwimmt es, indem es sich vertikal stellt; der Körper B nämlich, gewöhnlich von Blei gemacht, wird so schwer genommen, dass der Schwerpunkt des ganzen Instruments immer tiefer als der des verdrängten Wassers liegt. Noch ist zu bemerken, dass, so lange die Schale C nicht mit gewissen Gewichten beladen ist, die Marke D bedeutend über die Oberfläche des Wassers herausragen muss.

Um dieses Instrument zur Bestimmung des specifischen Gewichts eines festen Körpers anzuwenden, taucht man es in ein mit Wasser gefülltes Gefäss und legt auf die Schale C so viele Gewichte als nöthig sind, dass das Instrument genau bis zur Marke D in die Flüssigkeit eintaucht. Hierauf legt man den Körper, dessen specifisches Gewicht bestimmt werden soll, auf die Schale und nimmt zu gleicher Zeit so viele Gewichte von derselben weg, dass sich der Punkt D wieder im Niveau des Wassers befindet. Die weggenommenen Gewichte geben offenbar das Gewicht des Körpers ganz so, als wenn es mittelst einer Wage bestimmt worden wäre. Man nimmt nun den Körper wieder von der Schale weg und bringt ihn in eine Art Korb, der über dem Stücke B angebracht ist und eben zur Aufnahme des Körpers dienen soll. Das Instrument sinkt nun nicht mehr bis zur Marke ein, da der Körper, welcher sich nun mitten im Wasser befindet, so viel an seinem Gewichte verloren hat, als das Gewicht des von ihm verdrängten Wassers beträgt; um das Aräometer wieder bis zur Marke eintauchen zu machen, muss man auf die obere Schale wieder Gewichte zulegen, und diese Gewichte geben offenbar das Gewicht derjenigen Menge Wasser, welche dasselbe Volumen wie der Körper hat. Man hat also nun gefunden: 1) das Gewicht des Körpers; 2) das Gewicht eines gleichgrossen Volumens Wasser; man darf also nur die erste dieser Zahlen durch die zweite dividiren, um die Dichtigkeit des Körpers zu erhalten.

Es ist leicht einzusehen, dass das Gewichtsaräometer um so empfindlicher ist und folglich um so genauere Resultate liefert, je dünner der Stab ist, auf welchen man die Marke D angebracht hat. Wenn man auf der Schale C ein kleines Gewichtchen zulegt, so muss sich das Aräometer tiefer in das Wasser senken, und zwar um so viel tiefer, dass das Gewicht der Menge Wasser, welche es mehr verdrängt, gleich dem auf der Schale zugelegtem Gewichte ist. Nun wird, wenn das Aräometer schon fast bis zur Marke eintaucht, eine neue Quantität Wasser von demselben nur in der Weise verdrängt, dass ein Theil seines Stabes unter die Oberfläche des Wassers her

absinkt. Dieser Theil muss also um so länger und folglich die Senkung des Instruments um so merkbarer sein, je kleiner der Querschnitt des Stabes ist. Wenn z. B. der Querschnitt des Stabs einen Quadrat-Millimeter betrüge, so müsste die Hinzufügung von einem Milligramm auf der Schale den Stab um einen Millimeter tiefer eintauchen machen, weil dadurch um einen Cubik-Millimeter mehr Wasser verdrängt würde und dieses Volumen Wasser ein Milligramm wiegt.

Um mittelst des Gewichtsaräometers das specifische Gewicht einer Flüssigkeit zu bestimmen, taucht man es nacheinander in Wasser und in diese Flüssigkeit und legt jedesmal so viele Gewichte auf die obere Schale, dass das Instrument bis zur Marke eintaucht. Wenn man die Gewichte, die man auf diese Weise erhalten hat, indem das Instrument in Wasser tauchte, zu dem Gewicht des Aräometers selbst hinzufügt, so erhält man das Gewicht des Wassers, welches dasselbe verdrängt, wenn es bis zur Marke eintaucht. Das Gewicht eines gleichen Volumens der Flüssigkeit, deren Dichtigkeit bestimmt wird, erhält man offenbar, wenn man die Gewichte, welche aufgelegt wurden, als das Instrument in die Flüssigkeit tauchte, zu dem Gewichte des Instruments selbst addirt. Man bekommt also das gesuchte specifische Gewicht der Flüssigkeit, wenn man das zweite dieser Resultate durch das erste dividirt.

§. 289. Die Aräometer mit constantem Gewicht oder die Scalenaräometer können blos dazu dienen, das specifische Gewicht flüssiger Körper zu bestimmen und werden desshalb häufig auch mit dem Namen Flüssigkeitswagen, Senkwagen bezeichnet. Sie sind gewöhnlich von Glas und bestehen aus einem weiteren, hohlen Theil *a* (Fig. 394), der oben eine getheilte Röhre *b*, Hals genannt, unten aber eine Kugel *c* trägt, in welche Quecksilber eingegossen ist. Wenn das Instrument in eine Flüssigkeit getaucht wird, so schwimmt es n vertikaler Stellung in derselben, wobei es mehr oder weniger tief in die Flüssigkeit einsinkt. Damit es im Gleichgewicht sei, muss, wie wir wissen, das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit gleich dem Gewichte des Aräometers sein. Es wird dasselbe folglich um so tiefer in die Flüssigkeit einsinken, je geringer die Dichtigkeit derselben ist. Man sieht daraus, dass umgekehrt die Dichtigkeit der Flüssigkeit, in welche das Instrument eintaucht, durch den Punkt des Halses *b* bestimmt wird, bis zu welchem das Aräometer in dieser Flüssigkeit einsinkt.

Die Art und Weise der Eintheilung des Halses *b* eines Scalenaräometers ist sehr verschieden, je nach dem Gebrauche, zu welchem das Aräometer bestimmt ist. Wenn es unmittelbar die Dichtigkeit einer

Flüssigkeit angeben soll, so schreibt man neben jedem Theilstrich der Scala die Dichtigkeit der Flüssigkeit, in welcher das Instrument bis zu diesem Strich eintaucht. In vielen Fällen hängt das specifische Gewicht einer Flüssigkeit auf's Innigste von der Zusammensetzung derselben ab. So liegt das specifische Gewicht des Weingeistes stets zwischen 0,793, dem specifischen Gewicht des absoluten Alkohols, und 1,000, dem des Wassers, und zwar um so näher an letzterem, je mehr Wasser der Weingeist enthält. Es ist daraus begreiflich, dass das Aräometer auch zur Bestimmung des Procentgehaltes des Weingeistes an Wasser oder absoluten Alkohol dienen kann. In diesem Fall heisst es Alkoholometer, und seine Scala ist dann so eingerichtet, dass der Procentgehalt des Weingeistes unmittelbar neben dem Theilstrich abgelesen werden kann, bis zu welchem das Instrument in diesem Weingeist eintaucht. In ähnlicher Weise hat man sogenannte Lactometer zur Untersuchung der Milch, Saccharometer zur Prüfung des Bieres u. s. w.



Fig. 394.

Am weitesten, namentlich für die Zwecke des praktischen Lebens, sind die Aräometer verbreitet, welche eine, von Baumé zuerst angegebene, rein willkürliche Scala besitzen, und welche gewöhnlich Baumé'sche Aräometer genannt werden. Es gibt zwei Arten von diesen Aräometern, je nachdem sie für dichtere oder weniger dichte Flüssigkeiten als Wasser bestimmt sind. Um die Scala der ersteren, die für dichtere Flüssigkeiten als Wasser bestimmt sind, zu erhalten, taucht man das Instrument in Wasser und bezeichnet den Punkt, bis zu welchem es in demselben eintaucht, mit Null. Hierauf bringt man das Instrument in eine Flüssigkeit, welche durch Auflösung von 15 Theilen Kochsalz in 85 Theilen Wasser gebildet wird, und bezeichnet den Punkt, bis zu welchem es in dieser Flüssigkeit einsinkt, mit 15. Den Zwischenraum zwischen den so erhaltenen zwei Punkten theilt man in 15 gleiche Theile, Grade genannt, und setzt diese Theilung auch unter den Punkt, der mit 15 bezeichnet ist, fort bis zum unteren Ende des Halses. Um die Aräometer, welche für weniger dichte Flüssigkeiten als Wasser bestimmt sind, zu graduiren, bringt man sie in eine Auflösung von 10 Theilen Kochsalz und 90 Theilen Wasser und bezeichnet den Punkt, bis zu welchem sie eintauchen, mit Null; hierauf setzt man sie in reines Wasser und schreibt an die Stelle, bis zu welcher sie in diesem einsinken, die Zahl 10. Den Zwischenraum zwischen die-

sen beiden Punkten theilt man in 10 gleiche Theile, ebenfalls Grade genannt, und verlängert die Theilung über den Theilstrich 10 hinaus bis an das obere Ende des Halses.

§. 290. **Schiffe und Kähne.** — Die Schiffe und Kähne, deren man sich für den Transport zu Wasser bedient, sind nichts anderes als schwimmende Körper, welche durch den Auftrieb, den die Flüssigkeit auf den eingetauchten Theil ihrer äusseren Oberfläche ausübt, über der Oberfläche des Wassers gehalten werden. Sie müssen also so viel Wasser verdrängen, dass das Gewicht desselben gleich ihrem eigenen Gewicht ist. Man sieht daraus dass das Gewicht eines Schiffes, einschliesslich seiner Ladung, eine beliebige Grösse erhalten kann; es schwimmt stets auf dem Wasser, vorausgesetzt nur, dass seine Gestalt der Art ist, dass es eine hinreichend grosse Menge Wasser verdrängt.

Damit ein Schiff möglichst stabil schwimmt, d. h. damit es nicht Gefahr läuft, auf die Seite gelegt zu werden, wenn es etwas aus seiner Gleichgewichtslage gebracht worden ist, muss sein Schwerpunkt möglichst tief liegen. Aus diesem Grunde bringt man in die untersten Räume des Schiffes schwere Körper welche den Ballast bilden. Nichtsdestoweniger ist es gewöhnlich nicht möglich, den Schwerpunkt des Schiffes unter den des verdrängten Wassers zu bringen; es ist diess aber auch, wie in §. 285 gezeigt wurde, für die Stabilität nicht nothwendig erforderlich; es reicht hin, dass dem Schiffe eine solche Form gegeben werde, dass, wenn es etwas zur Seite geneigt wird, das Metacentrum immer über seinen Schwerpunkt zu liegen kommt.

Der Tonnengehalt eines Schiffes bestimmt sich nach der Menge Wassers, welche es verdrängen kann, ohne dabei in eine solche Lage zu kommen, die für seine Bewegung ungünstig ist; und da das Gewicht des verdrängten Wassers immer gleich dem Gewichte des ganzen Schiffes sammt Belastung ist, so drückt also der Tonnengehalt auch das Gesammtgewicht des Schiffes mit Ladung aus. Die Einheit des Gewichtes, welche man in diesem Fall zu Grunde legt, ist die Tonne, gleich 1000 Kilogramm (§. 17). Ein Schiff von 200 Tonnen ist also ein solches, dessen Gesammtgewicht 200000 Kilogramm beträgt, oder welches so tief im Wasser geht, dass es 200 Cubikmeter desselben verdrängt.

In dem Maasse, als die Ladung eines Schiffes vergrössert wird, senkt es sich tiefer ein, um eine neue Quantität Wasser zu verdrängen, welche im Verhältniss zur Zunahme der Belastung steht; die Grösse, um welche sich dabei das Schiff senkt, ist um so geringer, je grösser seine Schwimmfläche ist; diesen Namen gibt

man nämlich dem horizontalen Querschnitt des Schiffes, den man erhält, wenn man sich die Horizontalebene, welche die freie Oberfläche des Wassers bildet, durch das Innere des Schiffes hindurch erweitert denkt. Wenn diese Oberfläche z. B. 100 Quadrat-Meter beträgt, so bringt eine Vermehrung der Ladung um 1000 Kilogramm eine Senkung des Schiffes um einen Centimeter hervor; denn in Folge der Vergrösserung der Last um 1000 Kilogramm muss das Schiff um einen Cubik-Meter Wasser mehr als vorher verdrängen; und ein Cylinder, dessen Grundfläche 100 Quadrat-Meter ist, muss eine Höhe von einem Centimeter haben, damit sein Cubikinhalt einen Cubik-Meter beträgt.

Die Zahlenbeispiele, welche wir bisher gegeben haben, setzen voraus, dass das Wasser, auf welchem das Schiff schwimmt, reines oder wenigstens gewöhnliches Wasser ist; sie sind also auf die Schifffahrt in süssem Wasser anwendbar. Die Dichtigkeit des Meerwassers ist 1,026; ein Cubik-Meter dieses Wassers wiegt folglich 1026 Kilogramm, und eine solche Menge desselben, welche eine Tonne wiegt, hat nur ein Volumen von 0,975 Cubik-Meter. Man sieht hieraus, auf welche Weise die vorhergehenden Resultate modificirt werden müssen, um auf die Schifffahrt im Meere angewandt werden zu können.

§. 291. Als ein interessantes Beispiel für die Anwendung der Schiffe zum Transport von Lasten soll hier das Mittel angegeben werden, welches die alten Aegyptier für den Transport ihrer Obelisken anwandten. Nachdem ein Obelisk in dem Steinbruch selbst, aus welchem man ihn fortschaffen wollte, zubehauen worden war, grub man einen Kanal, der sich bis unter den Obelisken erstreckte, sodass sich derselbe nur noch an seine beiden Enden gegen den Erdboden stützte. Dieser Kanal füllte sich bei der Ueberschwemmung des Nils mit Wasser. Man führte hierauf grosse Kähne, die mit Ziegelsteinen beladen waren, bis gerade unter den Obelisken (Fig. 395)

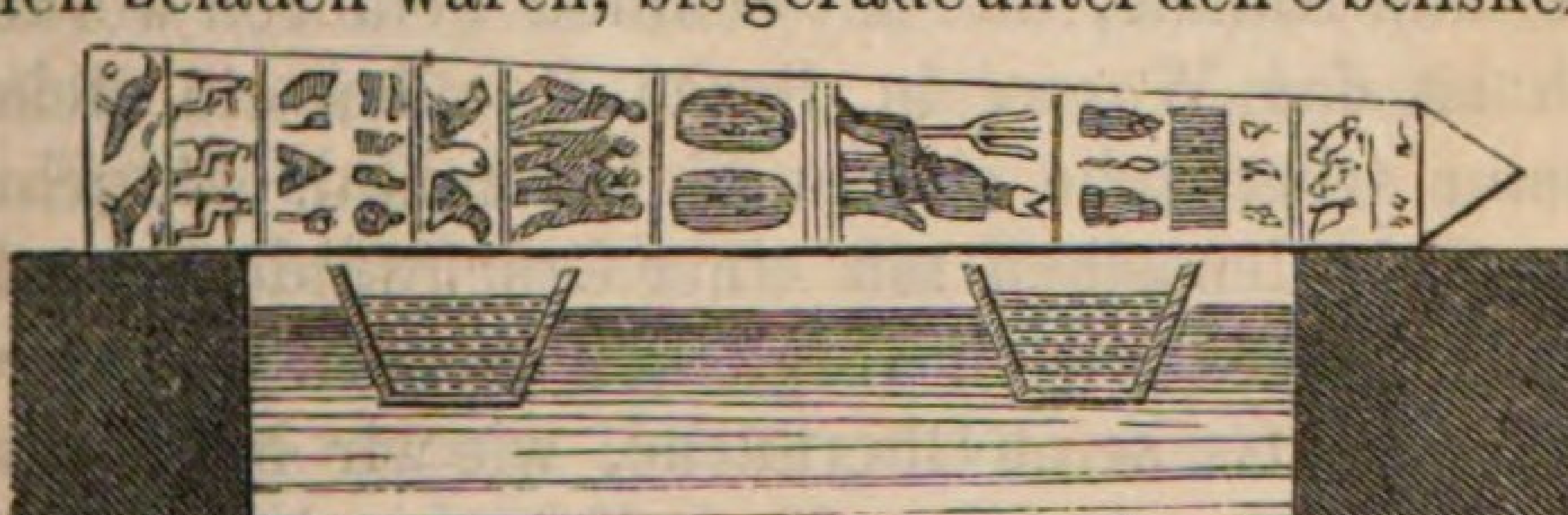


Fig 395.

und entlud sie in dieser Stellung, indem man die Ziegelsteine aus ihnen entfernte. Die so erleichterten Kähne hoben sich allmälig; aber bald berührten sie die untere Fläche des Obelisken, und konnten nun so lange nicht mehr weiter steigen, als bis man so viel

Ziegelsteine aus ihnen entfernt hatte, dass sie im Stande waren den Obelisken zu heben. Der auf solche Weise auf die Kähne geladene Obelisk konnte nun leicht an seinen Bestimmungsort transportirt werden, wo man ihn in ähnlicher aber umgekehrter Art von den Kähnen ablud.

§. 292. Wenn ein Schiff mit grossem Tiefgang wegen Mangels an Wasser nicht in einen Hafen einlaufen kann, so hebt man es mittels flacher Kähne, Kameele genannt, die an seine beiden Seiten gebracht werden, etwas in die Höhe. Diese Kähne sind so eingerichtet, dass sie sich an die Flanken des Schiffes anlegen können. Unter dem Kiel dieses Letzteren sind Taue durchgezogen, welche sich auf beiden Seiten über die Oberfläche des Wassers erheben und an Erdwinden anliegen, welche auf dem Verdeck der Kameele festgemacht sind. Wenn man diese Erdwinden in Thätigkeit setzt, so erhebt sich das Schiff, da nun ein Theil seines Gewichtes durch die Kameele getragen wird; diese sinken natürlich zu gleicher Zeit tiefer ein. Wenn das Schiff auf diese Weise hinreichend aus dem Wasser gehoben ist, so wird es mit den beiden Kameelen, die gleichsam ein einziges Fahrzeug mit ihm bilden, in den Hafen geführt. Dieses Mittel, das besonders in Holland angewandt wird, besteht, wie man sieht, einfach darin, den Tiefgang eines Schiffes dadurch zu vermindern, dass man seine Schwimmfläche durch Anfügung der Kameele vergrössert; auf diese Weise verdrängt zwar das Schiff mehr Wasser, weil sein Gewicht um das Gewicht der Kameele vergrössert wird; aber das Volumen dieses Wassers erstreckt sich viel mehr in horizontalem Sinne, seine Tiefe wird also geringer als in dem Fall, wo das Schiff noch allein schwamm.

§. 293. **Kanäle.** — Um den Transport zu Wasser auch in Gegenden zu ermöglichen, wo keine schiffbaren Flüsse vorhanden sind, gräbt man Kanäle, die mit Schiffen befahren werden können. Gewöhnlich ist das Wasser in diesen Kanälen ein stehendes, und dann ist seine Oberfläche eben und horizontal. Manchmal jedoch fliesst es auch in denselben mit einer Geschwindigkeit, die mit der in Flüssen zu beobachtenden verglichen werden kann; wenn diess der Fall ist, so muss seine Oberfläche, wie wir bald sehen werden, eine gewisse Neigung haben; diese Neigung ist aber immer nur ausserordentlich klein. Es scheint demnach auf den ersten Anblick, dass ein Kanal nur in einem ganz flachen Lande angelegt werden könne, wenn sich das Niveau des Wassers an gewissen Stellen nicht zu weit von der Oberfläche des umgebenden Terrains entfernen soll, was in jedem Fall grosse Schwierigkeiten verschiedener

Art darbietet. Dem ist aber glücklicher Weise nicht so: Es kann in jedem Lande, wenn es nicht sehr grosse und rasch wechselnde Höhenunterschiede darbietet, ein Kanal angelegt werden, ohne dass sich die Oberfläche des Wassers in demselben zu sehr von der Oberfläche des benachbarten Bodens entfernt.

Um aber diess zu erreichen, muss man den ganzen Kanal aus mehreren Abtheilungen, Haltungen genannt, zusammensetzen, die unmittelbar eine auf die andere folgen, und in welchen das Wasser verschieden hoch steht. Diese Haltungen werden durch sogenannte Schleusen miteinander in Verbindung gesezt, welche dazu bestimmt sind, die Schiffe von einem Niveau auf ein anderes, höher oder tiefer gelegenes zu bringen. Es sei A (Fig. 396) die

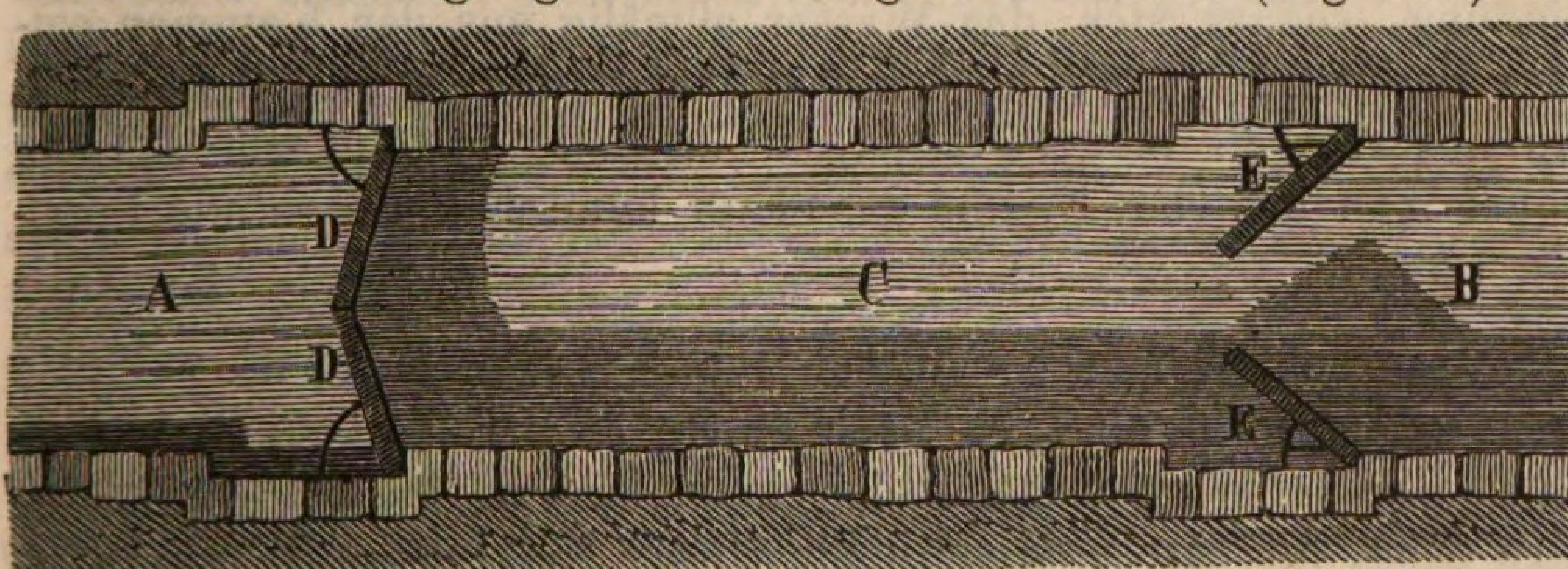


Fig. 396.

obere, B die untere, d. h. tiefer gelegene von zwei aufeinanderfolgenden Haltungen. Die Schleuse selbst besteht aus einem Stück Kanal C, Schleusenkammer genannt, welches von den beiden Haltungen A und B durch zwei Schleusenthore D und E getrennt wird, die nach Belieben geöffnet und geschlossen werden können, und mittels denen man folglich die Schleusenkammer mit der einen oder andern der beiden Haltungen in Verbindung setzen kann. Die Dimensionen der Kammer C müssen, sowohl ihrer Breite als ihrer Länge nach, so gross genommen werden, dass sie die grössten Schiffe, welche den Kanal befahren sollen, noch aufzunehmen im Stande ist. Was die Tiefe der Kammer betrifft, so muss dieselbe so sein, dass die Schiffe noch in die Kammer gelangen können, wenn die Oberfläche des Wassers in ihr in gleicher Höhe mit der des Wassers in der unteren Haltung steht: die Wände der Kammer endlich müssen sich so hoch erheben, dass sie nicht überschwemmt werden können, wenn die Kammer mit der oberen Haltung in Verbindung gesezt wird.

Um ein Schiff von der unteren Haltung B in die obere A überzuführen, schliesst man das Thor D und öffnet das E. Da alsdann das Wasser in B und C gleichhoch steht, so kann das Schiff in die

Kammer C einfahren. Wenn diess geschehen ist, schliesst man das Thor E und setzt die Kammer mit der oberen Haltung in Verbindung; dadurch steigt das Wasser in der Kammer und hebt natürlich das Schiff mit in die Höhe. Wenn auf diese Weise das Niveau in C und A in gleicher Höhe ist, öffnet man das Thor D und lässt das Schiff in der oberen Haltung weiter fahren.

Durch das gerade umgekehrte Verfahren kann ein Schiff von A nach B herabgelassen werden. Wenn das Thor E geschlossen und das Thor D offen ist, so steht das Wasser in A und C gleich hoch; das Schiff kann also in die Kammer einfahren. Hierauf schliesst man das Thor D und sezt die Kammer mit der Haltung B in Verbindung, sodass sich das Wasser allmälig aus der Kammer entleert und seine Oberfläche mehr und mehr herabsinkt, bis sie mit der des Wassers in der Haltung B in gleicher Höhe steht. Dann öffnet man das Thor E, und das Schiff kann nun ungehindert weiter fahren.

Man sieht also, dass jedesmal, wenn ein Schiff durch die Schleuse geht, sei es nun von oben nach unten, oder von unten nach oben, eine Quantität Wasser gleich derjenigen, welche die Schleusenkammer fasst, aus der oberen in die untere Haltung abfliesst. Wenn mehrere Haltungen, alle durch Schleusen von gleichen Dimensionen von einander getrennt, aufeinander folgen, eine immer unter der anderen, so erfordert offenbar die Fahrt eines Schiffes von einem Ende des Kanals zum anderen, dass sich im Ganzen aus der obersten Haltung in die unterste diejenige Menge Wasser ergiesst, welche eine Schleusenkammer zu fassen vermag. Wenn ein Kanal einen Berg übersteigen muss, indem er sich an dem einen Abhang desselben erhebt und an dem entgegengesetzten wieder herabsenkt, so ist auf der Höhe des Berges eine Haltung vorhanden, die über allen anderen gelegen ist. Diese Haltung muss offenbar die für den Durchgang eines Schiffes durch die Schleusen nöthige Menge Wassers liefern, sowohl wenn dieses Schiff auf der einen Seite emporsteigt, als wenn es auf der anderen wieder herabgeht. Es ist also nothwendig, dass diese oberste Haltung fortwährend mit neuem Wasser versehen oder, wie man sagt, gespeist wird, wozu man entweder fliessende Gewässer, Quellen, Bäche etc., wenn solche vorhanden sind, oder auch das Regenwasser, das man in grossen Reservoirs auffängt, benützt. Um den Verlust an Wasser, welchen der Durchgang eines Schiffes durch die Schleuse veranlasst, so gering als möglich zu machen, gibt man den Schleusenkammern so kleine Dimensionen, dass sie eben nur noch gross genug sind, um die

grössten Schiffe, welche den Kanal befahren sollen, noch aufnehmen zu können.

§. 294. Wir haben oben gesagt, dass, wenn ein Schiff aus der unteren Haltung B in die Schleusenkammer C gelangt ist, das Thor E geschlossen und die Verbindung zwischen der Kammer und der oberen Haltung A hergestellt werden muss, damit das Niveau des Wassers in der Kammer gehoben und auf gleiche Höhe mit dem in der oberen Haltung gebracht wird. Man könnte glauben, dass das letztere einfach dadurch geschehen könnte, dass man das Thor D öffnet; aber bei einiger Ueberlegung sieht man leicht, dass die Oeffnung des Thores D, bevor die Oberfläche des Wassers zu beiden Seiten desselben gleichhoch steht, nur mit grosser Schwierigkeit geschehen könnte. Nehmen wir, um ein bestimmtes Beispiel vor Augen zu haben, an, dass jeder der beiden Flügel, aus denen ein Schleusenthor besteht, 2 Meter breit sei und dass die Oberfläche des Wassers in der oberen Haltung 2 Meter über der Oberfläche in der Kammer stehe; so folgt aus dem, was in §. 239 gesagt wurde, dass der Druck, welchen jeder Flügel des Thores D von Seite des Wassers in der oberen Haltung zu erleiden hat, gleich dem Gewichte eines Wasserprisma's ist, dessen Grundfläche 4 Quadrat-Meter, und dessen Höhe einen Meter, die Höhe des Wasserspiegels in der oberen Haltung über dem Schwerpunkt der gedrückten Fläche, beträgt; dieser Druck ist also gleich 4000^k und bringt dieselbe Wirkung hervor, wie eine Kraft von dieser Grösse, die in einem Punkte des Flügels angreift, der in der Vertikalen, welche durch die Mitte dieses Flügels geht, im dritten Theil dieser Linie, vom unteren Wasserpiegel an gemessen, gelegen ist (§. 240). Man sieht daraus, dass man, um das Thor zu öffnen und den Druck, der dasselbe geschlossen hält, zu überwinden, eine ausserordentlich grosse Kraft aufzubieten hätte. Damit die beiden Flügel eines Thores einen solchen Druck auszuhalten vermögen, müssen sie sehr stark gebaut sein; überdiess richtet man sie so ein, dass sie, wenn sie geschlossen sind, nach der Seite hin, von welcher der Druck stattfindet, einen ausspringenden Winkel miteinander bilden (Fig. 396); auf diese Weise sieht man, dass das Thor der Wirkung des Wasserdruckes nicht nachgeben kann, ohne dass die Mauern, welche die Wände der Schleusenkammer bilden, von einander entfernt würden.

Um es zu vermeiden, den ausserordentlich grossen Widerstand, von dem wir eben gesprochen haben, überwinden zu müssen, öffnet man das Thor einer Schleuse nicht eher, als bis das Wasser zu beiden Seiten desselben gleichhoch steht, muss aber dann natürlich die Verbindung zwischen den Flüssigkeiten zu beiden Seiten

des Thores auf andere Weise herstellen. Dieser Zweck wird durch das Aufziehen einer Art von Schütze erreicht, welche eine Oeffnung, die an dem unteren Theil jedes Thorflügels angebracht ist, verschliesst. Diese Schütze ist an einer Zahnstange von Eisen befestigt, die sich bis über den oberen Rand des Flügels erhebt, und in welche ein Trieb eingreift, das durch eine Kurbel herumgedreht werden kann. Indem man auf diese Kurbel wirkt, kann die Schütze ohne grosse Mühe aufgezogen werden (Fig. 397). Durch die da-

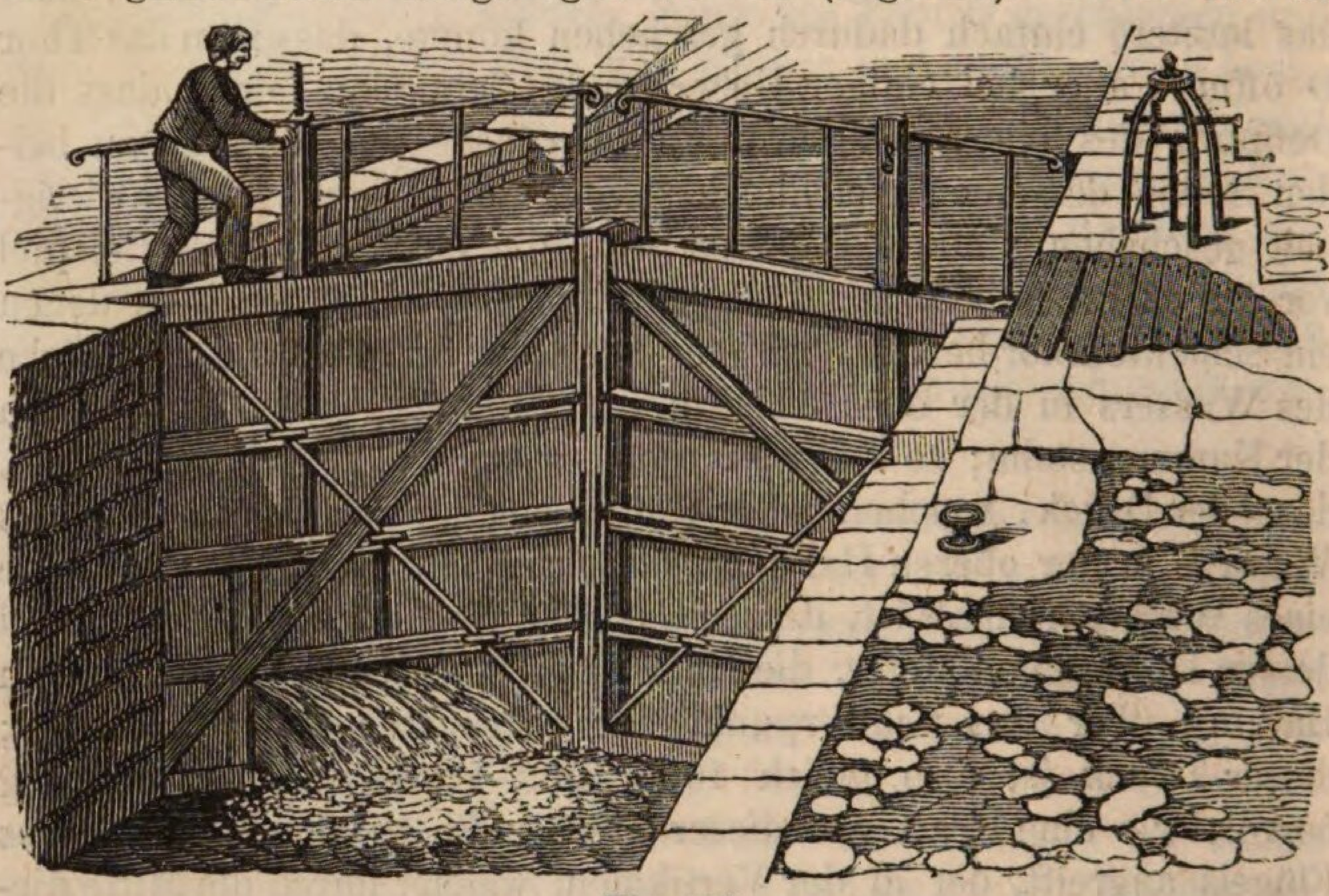


Fig. 397.

durch dargebotene Oeffnung ergiesst sich das Wasser aus der oberen Haltung in die Schleusenkammer; dadurch hebt sich in letzterer die Oberfläche des Wassers allmälig, und erst, wenn sie dieselbe Höhe wie in der oberen Haltung erreicht hat, wird das Thor aufgemacht.

Um das Wasser aus der gefüllten Kammer in die untere Haltung abfliessen lassen zu können, bevor man das zwischen diesen beiden Abtheilungen befindliche Thor öffnet, besitzt dieses Thor eine ganz ähnliche Einrichtung, wie die, welche soeben beschrieben wurde.

§. 295. **Einfluss der atmosphärischen Luft auf das Gewicht eines Körpers.** — Alle Körper, von denen wir umgeben sind, befinden sich in der atmosphärischen Luft und haben folglich in jedem Punkte ihrer Oberfläche einen Druck von Seite derselben zu erleiden, ähnlich wie ein Körper, der in eine Flüssigkeit eingetaucht ist. Man kann für diesen Fall ganz dieselbe Betrachtungsweise wie in §. 281 anwenden und gelangt, wie leicht

zu sehen, zu dem Resultate, dass ein Körper, der ringsum von atmosphärischer Luft umgeben, ist so viel an seinem Gewichte verliert, als das Gewicht der Luft, welche er verdrängt, beträgt.

Man kann dieses Resultat durch den folgenden Versuch wenigstens insofern beweisen, dass ein Gewichtsverlust der Körper in der Luft überhaupt stattfindet. Zwei Messingkugeln, von denen die eine hohl, die andere massiv ist, sind so gewählt, dass sie sich, wenn sie an den Enden eines kleinen Wagbalkens aufgehängt werden (Fig. 398), das Gleichgewicht halten, sodass der Wagbalken horizontal bleibt. Der ganze Apparat wird unter den Recipienten einer Luftpumpe gestellt und die Luft aus dem letzteren ausgepumpt. Man sieht alsdann, dass das Gleichgewicht nicht mehr besteht; die hohle Kugel, die natürlich grösser als die andere ist, senkt sich und hebt die kleinere massive Kugel in die Höhe. Die Ursache ist nach Obigem leicht einzusehen. Jede der beiden Kugeln erleidet in der Luft einen Gewichtsverlust gleich dem Gewichte der Luft, welche sie verdrängt; aber die grössere der beiden Kugeln verdrängt mehr Luft als die andere; sie erfährt also eine grössere Verminderung ihres Gewichtes als diese. Wenn sich folglich die beiden Kugeln, indem sie sich noch in der Luft befinden und die oben besprochenen Verminderungen ihres Gewichtes erleiden, an dem Wagbalken das Gleichgewicht halten, so ist in Wirklichkeit das Gewicht der grösseren von ihnen grösser als das der kleineren. Das Gleichgewicht kann also nicht mehr stattfinden, wenn man die Luft, von der sie umgeben sind, entfernt und sie damit dem Einfluss des Auftriebs, welchen dieselbe auf sie ausübt, entzieht.

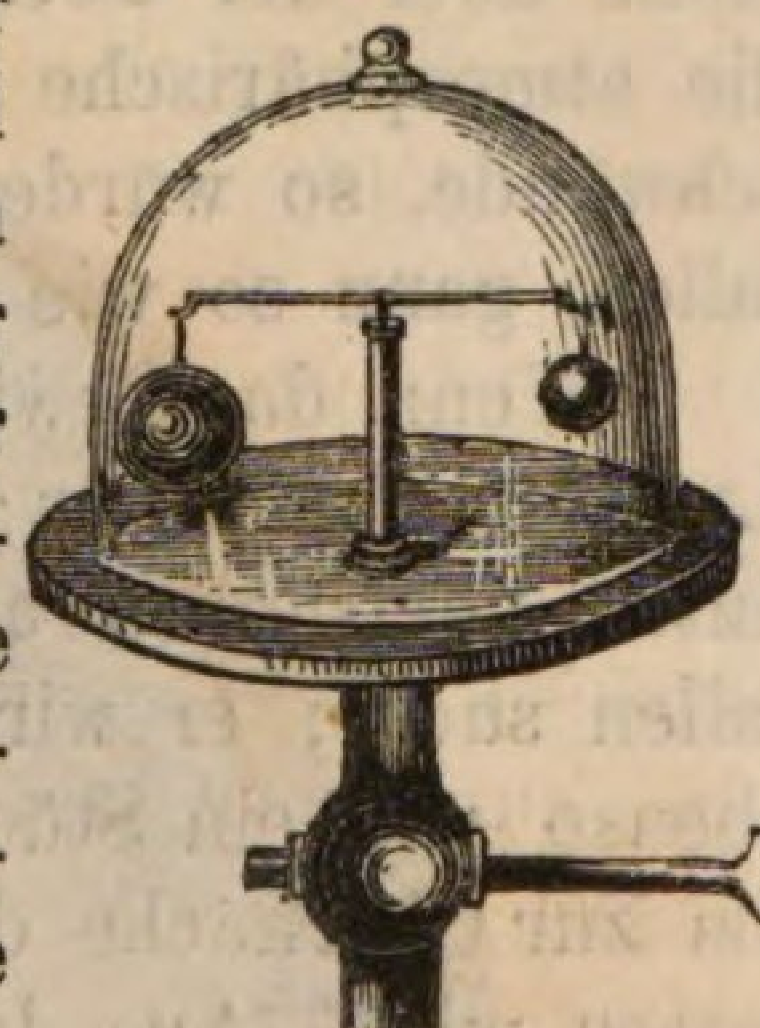


Fig. 398.

Wenn man sehr feine Wiegungen auszuführen hat, die ein sehr genaues Resultat liefern sollen, so muss man den Gewichtsverlust, welchen die Körper in der Luft erleiden, mit in Rechnung ziehen. Aber diese Verminderung des Gewichtes ist nur sehr gering, was sogleich in die Augen fällt, wenn man bedenkt, dass ein Liter atmosphärischer Luft bei einer Temperatur von 0^0 und einem Barometerstande von $0^m,76$ blos $1^{gr},3$ wiegt; überdiess ist nicht zu vergessen, dass die Gewichte, welche zum Wiegen benützt werden, gleichfalls einen Auftrieb erleiden, sodass eigentlich blos die Differenz zwischen dem Auftrieb des zu wiegenden Körpers und dem der Gewichte in Betracht zu ziehen ist. Desshalb kann der Einfluss der Luft auf das Gewicht eines Körpers in den meisten Fällen und namentlich, wo es sich um Zwecke des praktischen

Lebens handelt, vernachlässigt, also das durch Wiegen in der Luft gefundene Gewicht eines Körpers so betrachtet werden, als ob es im luftleeren Raum erhalten worden wäre.

§. 296. **Der Luftballon.** — Da ein Körper, welcher ringsum von Luft umgeben ist, von dieser einen Auftrieb gleich dem Gewichte der Luftmasse, welche er verdrängt, zu erleiden hat, so ist klar, dass er in dem Falle, wo sein Gewicht diesem Auftrieb genau gleich ist, in der Luft schwebend erhalten wird. Diess ist in der That bei den Wolken der Fall, die aus diesem Grunde in gewisser Höhe über der Oberfläche der Erde schweben; sie werden durch die atmosphärische Luft getragen. Wenn die Luft plötzlich verschwände, so würden die Wolken in demselben Augenblick herabfallen, ganz so wie ein Stein oder eine Bleikugel.

Wenn das Gewicht eines Körpers kleiner als das Gewicht der Luft ist, welche er verdrängt, so überwiegt die Kraft, welche von unten nach oben auf ihn wirkt, diejenige, mit welcher er zu fallen sucht; er wird sich also in der Atmosphäre erheben, ganz ebenso wie ein Stück Kork, welches in Wasser getaucht wurde, bis zur Oberfläche dieser Flüssigkeit emporsteigt, sobald es losgelassen wird. Aus demselben Grunde sehen wir den Rauch in der atmosphärischen Luft emporsteigen; die Gase, aus denen er zum grössten Theil besteht, und welche durch die Wärme ausgedehnt wurden, haben eine geringere Dichtigkeit als die Luft, welche sie umgibt; ihr Gewicht ist folglich kleiner als das der Luftmasse, welche sie verdrängen.

Montgolfier hatte zuerst die Idee, die aufsteigende Kraft des Rauches zu benützen, um schwere Körper, selbst Menschen in der Atmosphäre aufsteigen zu lassen. Zu diesem Ende verfertigte er aus möglichst leichtem, aber haltbarem Stoffe eine Hülle, die aufgebläht die Gestalt einer Kugel von grossem Durchmesser annahm; diese Hülle war überall vollständig geschlossen, ausgenommen an ihrer untersten Seite, wo eine kreisrunde Oeffnung gelassen war. Als man unter dieser Oeffnung ein Strohfeuer machte, sah man den ganzen Apparat sich erheben und, nachdem er eine bedeutende Höhe erreicht hatte, nach Verfluss einiger Zeit wieder herabfallen. Dieses Experiment wurde am 5. Juni 1783 zu Annonay zum erstenmale öffentlich gemacht; von diesem Tage datirt sich also die Erfindung des Luftballons.

Wenn das Gewicht der Montgolfière (so nennt man den von Montgolfier erfundenen Luftballon auch manchmal) mit Einschluss des Gewichts des Gases, welches der Ballon enthält, bedeutend geringer als das Gewicht der verdrängten Luft ist, so ist klar, dass

der Luftballon im Stande ist, auch noch andere schwere Körper, welche man an seinem unteren Theil befestigt, mit sich in die Höhe zu heben; das Experiment wurde gleich nach Erfindung des Luftballons mehrmals gemacht und gelang immer vollständig. Bald entschlossen sich daher auch Menschen mit ihm in die Höhe zu steigen. Die ersten, welche diese ganz neue Art von Reise unternahmen, waren Pilâtre de Roziers und der Marquis d'Arlandes. Ihre Montgolfière (Fig. 399), welche prachtvoll ausgeschmückt war, endigte sich

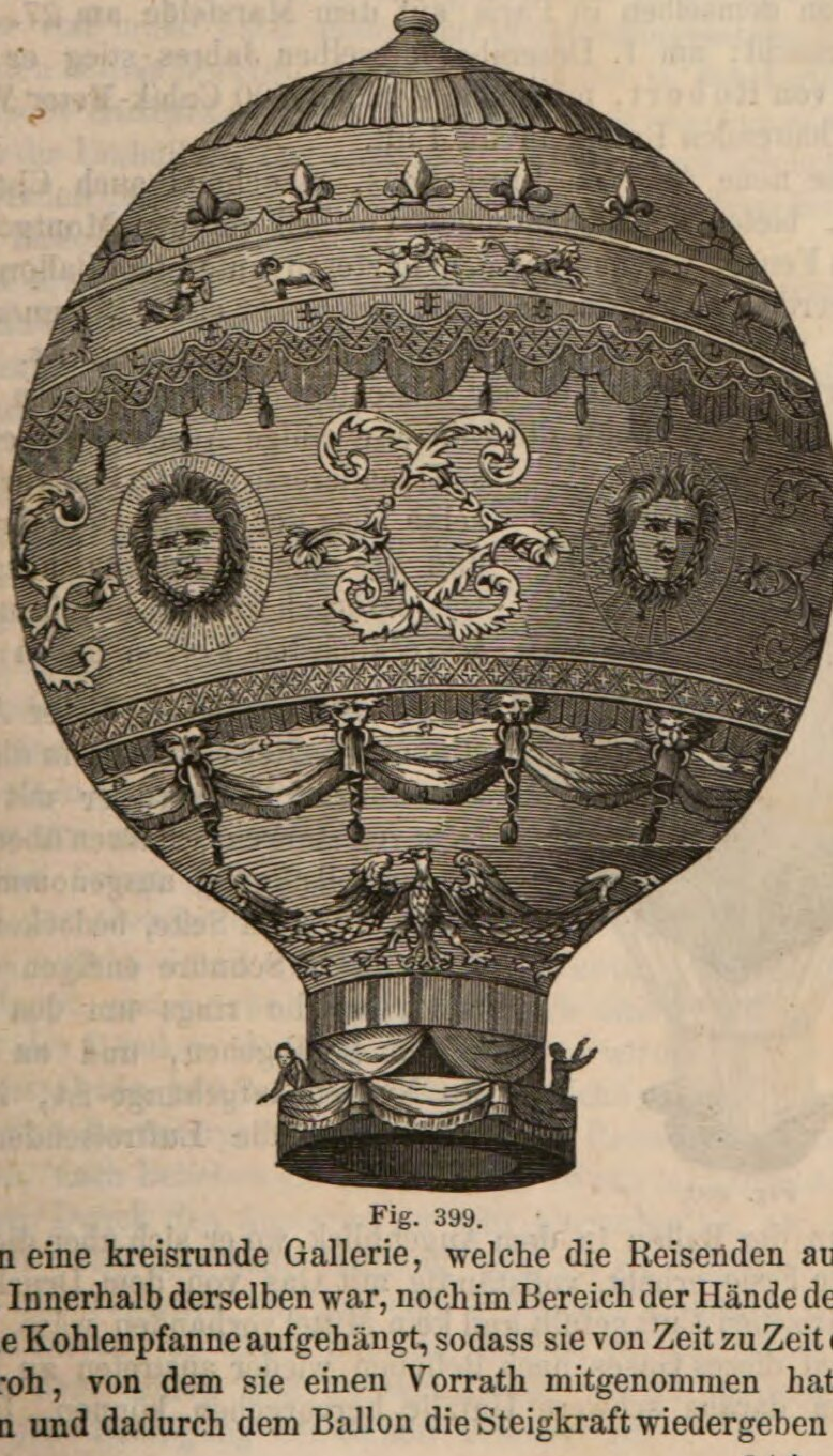


Fig. 399.

unten in eine kreisrunde Gallerie, welche die Reisenden aufnehmen konnte. Innerhalb derselben war, noch im Bereich der Hände der Reisenden, eine Kohlenpfanne aufgehängt, sodass sie von Zeit zu Zeit ein Feuer von Stroh, von dem sie einen Vorrath mitgenommen hatten, abbrennen und dadurch dem Ballon die Steigkraft wiedergeben konnten,

welche er allmälig in Folge der Erkältung verlor. Diese denkwürdige Erhebung fand ohne Unfall am 21. November 1783 in dem Garten de la Muette in der Nähe von Paris statt.

§. 297. Anstatt mit Rauch oder mit erwärmter Luft kann man den Ballon auch mit einem Gase füllen, das, wie z. B. das Wasserstoffgas, von Natur schon leichter als atmosphärische Luft ist. Diese Idee wurde zuerst von Charles, einem bekannten Physiker, Professor zu Paris, praktisch ausgeführt; der erste öffentliche Versuch wurde von demselben in Paris auf dem Marsfelde am 27. August 1783 gemacht; am 1. December desselben Jahres stieg er selbst, begleitet von Robert, mit einem solchen, 500 Cubik-Meter Wasserstoffgas haltenden Ballon in die Luft.

Diese neue Art von Luftballons, manchmal auch Charlièren genannt, bieten den bedeutenden Vortheil vor den Montgolfièren, dass das Feuer, welches bei den letzteren unter dem Ballon unterhalten werden muss, um das Gas, welches er enthält, immer in der nöthigen relativen Leichtigkeit zu erhalten, beseitigt ist. Dieses Feuer erfordert einerseits das Mitschleppen einer grossen Menge von Brennmaterial, wenn die Luftreise einige Ausdehnung erhalten soll; andererseits ist man durch dasselbe stets der Gefahr einer Entzündung des ganzen Ballons ausgesetzt, was natürlich für die Luftreisenden die schrecklichsten Folgen haben würde.

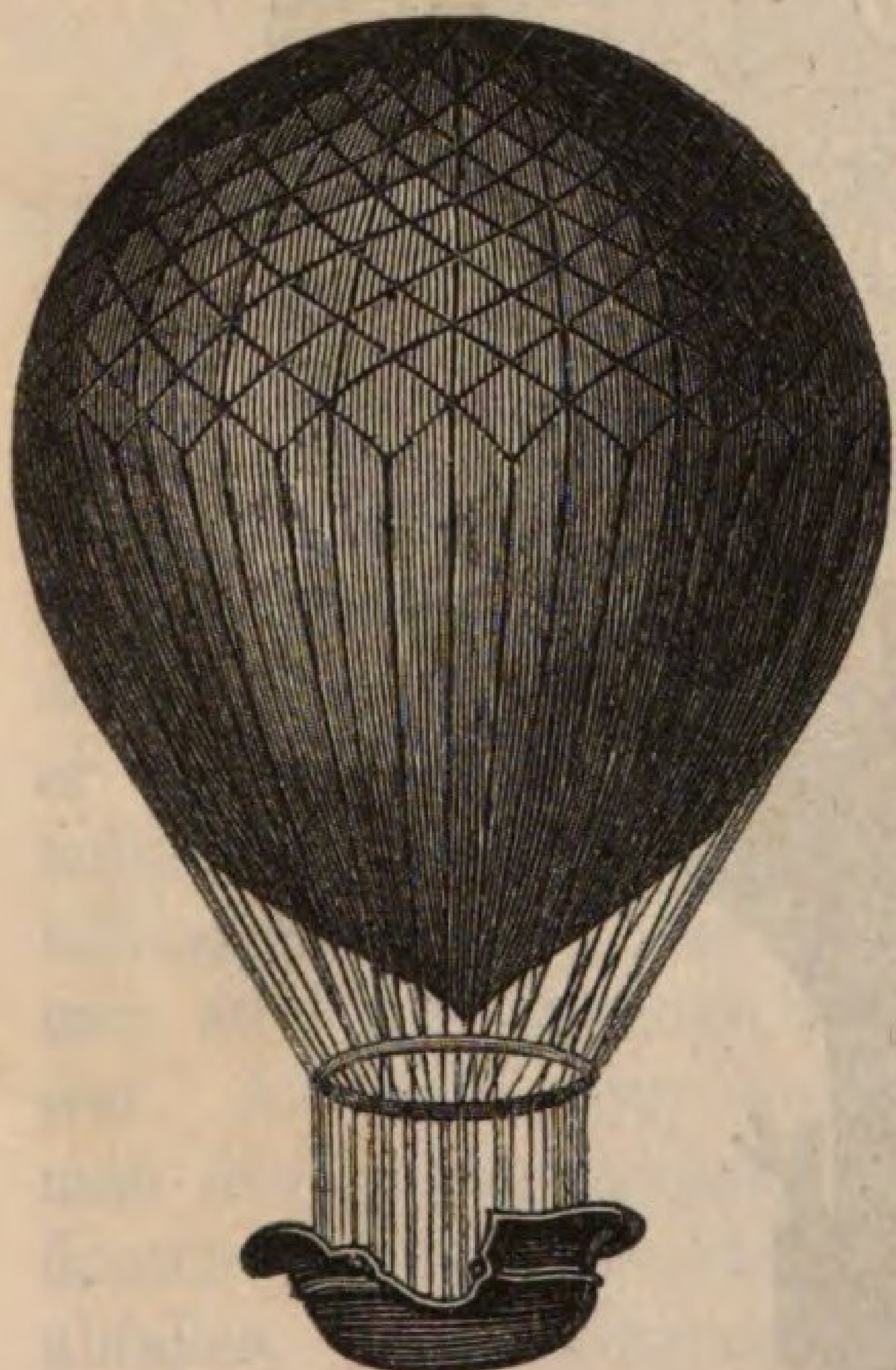


Fig. 400.

Wenn ein Ballon dieser Art bestimmt ist, Reisende mit in die Höhe zu nehmen, so wird er mit einem Netz von starken Schnüren überzogen, die ihn vollständig, ausgenommen auf seiner untersten Seite, bedecken (Fig. 400). Diese Schnüre endigen sich in Seile, welche rings um den Ballon herum herabgehen, und an denen ein Nachen aufgehängt ist, in welchem sich die Luftreisenden aufhalten.

Wenn der Ballon in dem Augenblick, wo er sich über die Oberfläche der Erde erhebt, vollständig mit Gas von dem Drucke der atmosphärischen Luft gefüllt und kein Mittel vorhanden wäre, später einen Theil dieses Gases nach Belieben wieder austreten zu lassen, so würden daraus schwere Unfälle hervorgehen können. In dem

Maasse als sich der Ballon erhebt, gelangt er in Luftschichten, in denen der Druck der Luft immer schwächer und schwächer wird. Der Druck, welcher von aussen her, von Seite der atmosphärischen Luft auf den Ballon ausgeübt wird, vermindert sich also mehr und mehr, während der von innen nach aussen stattfindende, durch die Spannung des in dem Ballon enthaltenen Gases hervorgebrachte die nämliche Stärke behält. Während also anfangs die Umhüllung des Ballons von beiden Seiten her gleichstark gedrückt wird, überwiegt der von innen nach aussen den in entgegengesetzter Richtung ausgeübten in dem Maasse, als sich der Ballon in der Luft erhebt; es ist leicht einzusehen, dass in Folge eines solchen einseitigen Druckes die Umhüllung zerrissen und dadurch einer solchen Menge Gas plötzlich der Austritt gestattet werden kann, dass der Ballon auf die Erde zurückfallen muss.

Um diese Gefahr zu vermeiden, kann man zwei verschiedene Mittel anwenden. Das erste besteht darin, den Ballon anfangs nicht ganz vollständig mit dem Gase zu füllen. Wenn er sich dann erhebt und der Druck, welcher von aussen her auf ihn ausgeübt wird, allmälig kleiner wird, so dehnt sich das Gas, welches er enthält, aus und bläht dadurch den Ballon mehr und mehr auf. Es ist klar, dass, so lange derselbe den Raum, den er möglicherweise auszufüllen vermag, noch nicht ganz einnimmt, nicht zu befürchten ist, dass er in Folge des Ueberschusses des inneren Druckes zerreisst. Das zweite Mittel, das jetzt fast ausschliesslich angewandt wird, besteht darin, dem Gase auf der unteren Seite des Ballons einen freien Ausgang zu lassen, so dass es fortwährend mit der freien Luft in Verbindung steht und man folglich nicht zu befürchten hat, dass der innere Druck den äusseren bedeutend überschreitet. Ausserdem bringt man immer, in dem einen wie in dem andern Fall, an der obersten Stelle des Ballons eine ziemlich grosse Oeffnung an, welche durch eine Klappe, ein Ventil, geschlossen wird. Diese Klappe, welche für gewöhnlich durch eine Feder in Berührung mit den Rändern der Oeffnung gehalten wird und dieselbe gut verschliesst, kann mittelst einer Schnur, welche an ihr befestigt ist und so weit heruntergeht, dass sie von den Reisenden erreicht werden kann, nach Belieben geöffnet werden. Wenn man fürchtet, dass der innere Druck den äusseren zu sehr überschreitet, sei es, weil der Ballon unten gar keine Oeffnung hat, sei es, weil die Oeffnung zufällig unzureichend ist, um eine genügende Quantität Gas austreten zu lassen, so öffnet man die Klappe bis das Gleichgewicht zwischen dem innern und äussern Druck wieder hergestellt und dadurch jede Bedingung der Gefahr beseitigt ist.

Die Steigkraft eines Luftballons, der vollständig aufgebläht ist, vermindert sich in dem Grade, als sich derselbe in der Atmosphäre erhebt, da die Dichtigkeit der Luft, welche er verdrängt, immer geringer und folglich das Gewicht derselben immer kleiner und kleiner wird. Allerdings wird, wie wir oben gesagt haben, ein Theil des Gases durch die Oeffnung, welche unten an dem Ballon angebracht ist, oder auch durch die obere Klappe austreten gelassen und dadurch eine entsprechende Verminderung des Gesammtgewichtes des Ballons hervorgebracht; aber diese Verminderung gleicht die Abnahme des Auftriebs der umgebenden Luft nicht aus. Es kommt daher bald eine Zeit, wo die Steigkraft vollständig Null wird und der Ballon also in der Luftschichte, wo er sich eben befindet, stehen bleibt, oder sich doch nur in Folge des Luftstromes, der in dieser Schichte herrscht, in horizontalem Sinne fortbewegt. Um in diesem Fall den Ballon noch höher steigen zu machen, erleichtert man den Nachen, indem man den Ballast, in feinem Sand bestehend, von dem man eine bedeutende Quantität mitgenommen hat, über Bord wirft. Wenn man es dagegen dahin bringen will, dass der Ballon herabsinkt, so braucht man blos die obere Klappe auf kürzere oder längere Zeit zu öffnen. Dadurch tritt das Gas oben aus; der Ballon wird durch den äusseren Druck etwas zusammengedrückt, und folglich der Auftrieb, den er seitens der atmosphärischen Luft empfängt, verringert; diese Verringerung des Auftriebs macht aber mehr aus, als die durch den Austritt des Gases hervorgebrachte Verminderung des Gesammtgewichts des Ballons; der übrig bleibende Auftrieb ist folglich nicht mehr im Stande, den Ballon in derselben Höhe zu erhalten.

§. 298. Die Steigkraft eines Ballons ist aus seiner Grösse, seinem Gewichte und der Natur des Gases, mit welchem er gefüllt ist, leicht zu berechnen. Das Gewicht eines Cubikmeters Wasserstoffgas bei der Temperatur 0^{0} und einem Barometerstande von $0,^{m}76$ beträgt 89^{gr}. Das Gewicht des nämlichen Volumens Luft ist unter denselben Umständen 1299^{gr}; die Steigkraft eines Cubikmeters-Wasserstoffgas, welches sich in der atmosphärischen Luft befindet, ist demnach gleich 1210^{gr}. Um daher die Steigkraft eines mit Wasserstoffgas aufgeblähten Ballons zu finden, muss man 1210^{gr} mit der Zahl der Cubikmeter Gas, welche der Ballon enthält, multipliciren und von dem Produkt das Gewicht des Ballons selbst, d. h. seiner Umhüllung, nebst dem Gewicht der Schnüre, des Nachens u. s. f. abziehen; man kann auf diese Weise also auch die Grösse des Gewichts berechnen, mit welchem der Nachen belastet werden kann, ohne dass der Ballon aufhört, sich erheben zu können.

In neuerer Zeit füllt man die Luftballons gewöhnlich mit Leuchtgas, da dieses an Orten, wo die Gasbeleuchtung eingerichtet ist, auf's Leichteste zu haben ist. Leuchtgas ist aber, obwohl weniger dicht als atmosphärische Luft, doch bedeutend dichter als das Wasserstoffgas, und es ist daher begreiflich, dass der Nachen eines mit Leuchtgas gefüllten Ballons viel weniger beladen werden darf als der eines gleichgrossen mit Wasserstoffgas gefüllten. Die Dichtigkeit des Leuchtgases, wie es aus dem Gasometer genommen wird, ist sehr verschieden, weil seine Zusammensetzung nicht immer dieselbe ist; im Mittel kann sie zu 0,53 von der der atmosphärischen Luft angenommen werden. Ein Cubikmeter Leuchtgas wiegt also unter denselben Umständen, wie sie oben angegeben wurden, ungefähr 688^{gr}; demnach beträgt seine Steigkraft, wenn er sich inmitten der atmosphärischen Luft befindet, ungefähr 611^{gr}. Wenn man diese Zahl mit der Anzahl der Cubikmeter des zum Füllen verwendeten Gases multiplicirt und von dem Produkt das Gewicht der Umhüllung, der Schnüre und des Nachens subtrahirt, so erhält man ein Maass für das Gewicht, welches der Ballon mit in die Höhe zu heben vermag. Man sieht zugleich, dass die Steigkraft eines Cubikmeters Leuchtgas fast nur die Hälfte von derjenigen desselben Volumens Wasserstoffgas ist; es müssen also Ballons, die mit ersterem Gas gefüllt werden, bedeutend grössere Dimensionen erhalten als die mit Wasserstoffgas gefüllten, um die nämliche Steigkraft zu bekommen.

Gesetze der Bewegung flüssiger und luftförmiger Körper.

§. 299. **Ausfluss einer Flüssigkeit durch eine kleine Oeffnung.** — Wenn sich eine Flüssigkeit in einem Gefässe im Gleichgewicht befindet, und man bringt in der Wand des Gefässes, unterhalb der freien Oberfläche der Flüssigkeit eine Oeffnung an, so wird das Gleichgewicht gestört. Der Theil der Wand, welcher, um die Oeffnung herzustellen, weggenommen werden musste, hatte, während er sich noch an seiner Stelle befand, von innen nach aussen einen stärkeren Druck zu erleiden als von aussen nach innen; aber er widerstand diesem einseitigen Druck und hielt dadurch die Flüssigkeit im Gleichgewicht; sobald er daher entfernt wird, ist die Flüssigkeit durch nichts mehr zurückgehalten und fliesst daher durch die ihr dargebotene Oeffnung aus.

In dem Moment, wo der Ausfluss beginnt, gehen die Flüssigkeitstheile, die einen Augenblick vorher noch in Ruhe waren, nur mit sehr kleiner Geschwindigkeit durch die Oeffnung hindurch; diese Geschwindigkeit vermehrt sich aber rasch und erreicht nach Ver-

fluss einer sehr kurzen Zeit eine Grösse, die sie nicht mehr überschreitet. Von da an findet der Ausfluss in regelmässiger und stetiger Weise statt; die Flüssigkeitsmoleküle im Innern des Gefässes sind sämmtlich in Bewegung, um sich der Oeffnung zu nähern; jedes von ihnen beschreibt seinen besondern Weg und nimmt im Allgemeinen eine immer grössere und grössere Geschwindigkeit an, bis es endlich bei der Oeffnung ankommt. Wenn man sich dabei alle die verschiedenen aufeinanderfolgenden Flüssigkeitsmoleküle vorstellt, die sämmtlich den nämlichen Weg verfolgen, so bilden dieselben Das, was man einen Flüssigkeitsfaden nennt.

Die Theorie zeigt, dass die Geschwindigkeit, mit welcher die Flüssigkeit aus der Oeffnung fliesst, nachdem ihre Bewegung regelmässig geworden ist, von der Richtung des Theils der Wand, in welcher die Oeffnung angebracht wurde, unabhängig ist. Ob der Ausfluss von oben nach unten (Fig. 401), oder von unten nach oben (Fig. 402), oder nach der Seite (Fig. 403) stattfindet, immer ist die Geschwindigkeit dieses Ausflusses die nämliche, wenn der vertikale Abstand AB der freien Oberfläche der Flüssigkeit über der Oeffnung derselbe bleibt. Die Theorie zeigt ferner, dass diese Geschwindigkeit, unabhängig von der Natur der Flüssigkeit, gleich derjenigen ist, welche ein schwerer Körper erreicht, wenn er vom Spiegel bis zur Ausflussöffnung, also die Höhe AB (Fig. 401), frei herabfällt. Wenn man daher diese Höhe AB, ausgedrückt in Metern, mit h und die Ausflussgeschwindigkeit mit v bezeichnet, so erhält man für v (§. 97.)



Fig. 401.

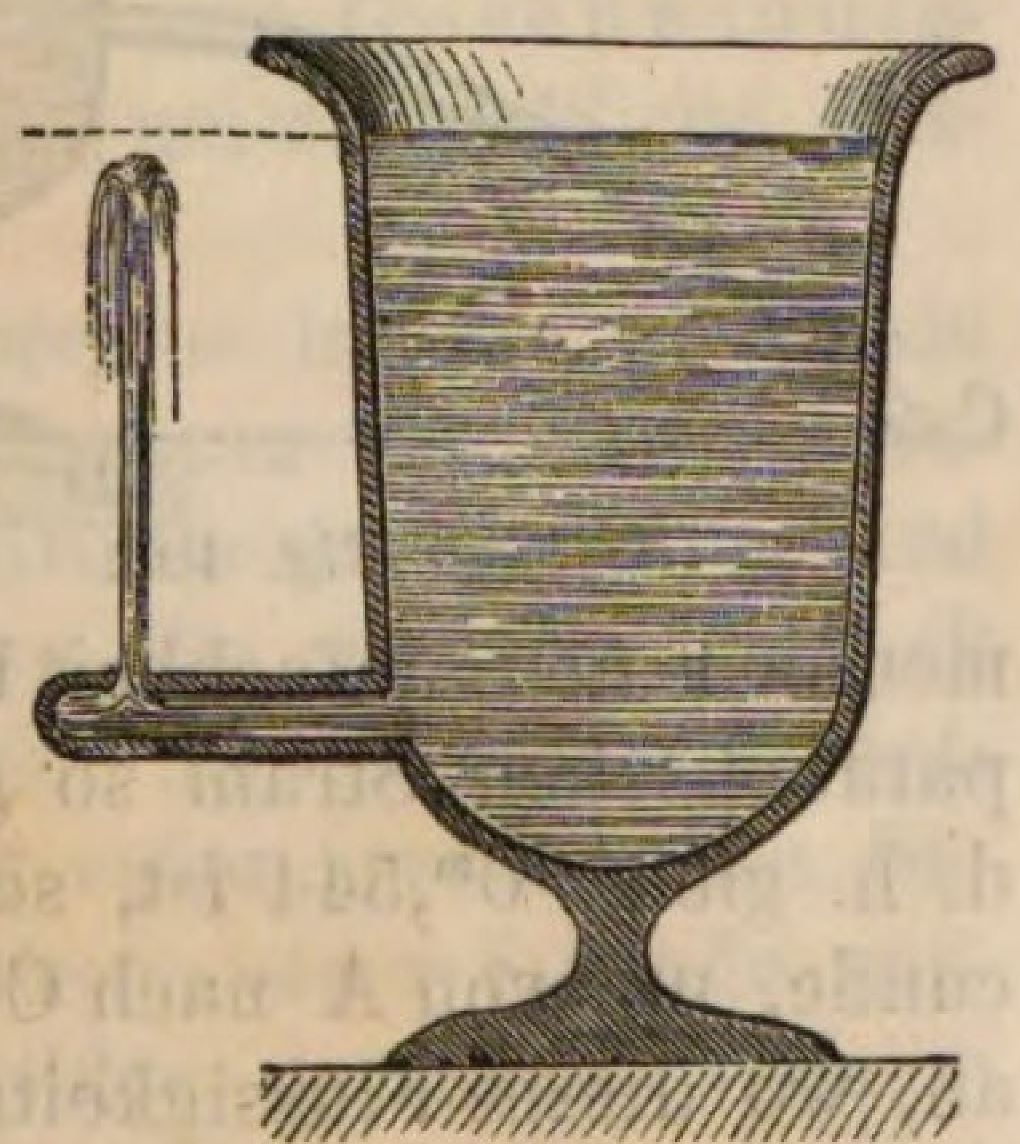
$$v = \sqrt{2gh}$$

Diese Formel gibt die Geschwindigkeit ebenfalls in Metern ausgedrückt, d. h. sie lehrt uns die Zahl der Meter kennen, welche ein Flüssigkeitsmolekül von dem Augenblick an, wo es die Oeffnung verlässt, in einer Secunde durchlaufen würde, wenn es seine Geschwindigkeit unverändert beibehielte. Die Tabelle auf Seite 151 gibt die Werthe für v, wie sie der obigen Formel entsprechen, für verschiedene Werthe von h.

Der Satz, den wir soeben für die Ausflussgeschwindigkeit einer Flüssigkeit durch eine Oeffnung in der Wand des Gefässes, in welcher sie sich befindet, ausgesprochen haben, heisst gewöhnlich das Toricelli'sche Gesetz. Wir haben dabei stillschweigend vor-

ausgesetzt, dass die Oeffnung im Verhältniss zur Grösse des Gefässes nur klein sei, sodass die Abstände aller ihrer Punkte vom Spiegel der Flüssigkeit in jedem Fall als unter sich gleich angesehen werden dürfen. Im Uebrigen ist jedoch die Ausflussgeschwindigkeit von der Grösse der Oeffnung unabhängig.

§. 300. Man kann die Richtigkeit des Toricelli'schen Gesetzes auch durch den Versuch erweisen. Wenn der Ausfluss von unten nach oben stattfindet, wie in der Fig. 402, so beobachtet man, dass sich der Flüssigkeitsstrahl, welcher aus der Oeffnung hervorspringt, beinahe bis zum Spiegel der Flüssigkeit im Gefäss erhebt. Diess kann aber nur der Fall sein, wenn die Moleküle, welche aus der Ausflussöffnung hervorkommen, eine von unten nach oben gerichtete Geschwindigkeit besitzen, welche der Höhe des Spiegels über der Ausflussöffnung entspricht. Damit der Versuch gut gelingt, muss man dem Flüssigkeitsstrahl eine kleine Neigung geben; denn ohne dieses fallen die Flüssigkeits-Moleküle, nachdem sie sich bis zu der grössten Höhe, welche sie erreichen können, erhoben hatten, auf die ihnen nachfolgenden Moleküle zurück und vermindern dadurch die aufsteigende Geschwindigkeit derselben; der Flüssigkeitsstrahl kann sich folglich nicht zu der ganzen Höhe erheben, welche seiner Ausflussgeschwindigkeit entsprechen würde. Indem man dem Strahl eine etwas schiefe Richtung gibt, vermindert man wohl die Höhe, bis zu welcher sich jedes Molekül in Folge seiner gewonnenen Geschwindigkeit erheben kann, um etwas, aber dieser Nachtheil wird durch den Vortheil, den man dadurch erhält, dass jedes Molekül eine Parabel beschreiben muss und daher nicht mehr auf die ihm nachfolgenden zurückfallen kann, mehr als aufgewogen.


Fig. 402.

Wenn der Ausfluss nach seitwärts durch eine Oeffnung in einer vertikalen Wand stattfindet (Fig. 403), so nimmt der Flüssigkeitsstrahl die Figur einer Parabel an; die Curve, welche er bildet, ist keine andere, als diejenige, welche ein schwerer Körper beschreiben würde, der mit einer Geschwindigkeit gleich derjenigen, mit welcher die Flüssigkeit aus dem Gefäss tritt, horizontal hinausgeworfen wird. Die Form des Flüssigkeitsstrahls muss folglich auch zur Bestimmung der Ausflussgeschwindigkeit dienen können. Zu diesem Zwecke misst man 1) die horizontale Entfernung CD eines Punktes des parabolischen Strahles von der Vertikalen, welche

durch die Ausflussöffnung hindurch geht, und 2) den Abstand AD der Oeffnung A über der Horizontalebene CD. Die Zeit, welche ein Flüssigkeitsmolekül braucht, um von A nach C zu gelangen, ist genau so gross wie diejenige, welche es nothwendig hätte, um die Höhe AD vertikal herabzufallen (§. 118). Diese Zeit ist folglich gerade eine Secunde, wenn AD gleich $\frac{1}{2}g$ oder $4^m,9$ misst; sie ist aber nur $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$... Secunde wenn AD gleich $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$... von $4^m,9$ ist. Nehmen wir der Einfachheit halber an, dass man den Punkt C auf dem parabolischen Strahl so gewählt habe, dass AD gleich $\frac{1}{9}$ von $4^m,9$, d. h. gleich $0^m,544$ ist, so gebraucht ein Flüssigkeitsmolekül $\frac{1}{3}$ Secunde, um von A nach C zu gelangen. Wenn aber von dem Moment an, wo dieses Flüssigkeitstheilchen aus der Oeffnung heraustritt, die Schwere nicht mehr auf dasselbe wirken würde, so würde es sich horizontal mit gleichförmiger Bewegung fortbewegen und in $\frac{1}{3}$ Secunde einen Weg von der Länge CD zurücklegen (§. 118). Es ist folglich die Geschwindigkeit, mit der es aus der Oeffnung tritt, gleich 3 mal der Länge CD. Indem man auf diese Weise die Ausflussgeschwindigkeit einer Flüssigkeit durch Oeffnungen, die in verschiedenen Abständen unter der freien Oberfläche im Gefäss gelegen sind, bestimmt, findet man, dass diese Geschwindigkeiten in der That sehr annähernd durch die Formel $v = \sqrt{2gh}$ gegeben werden.

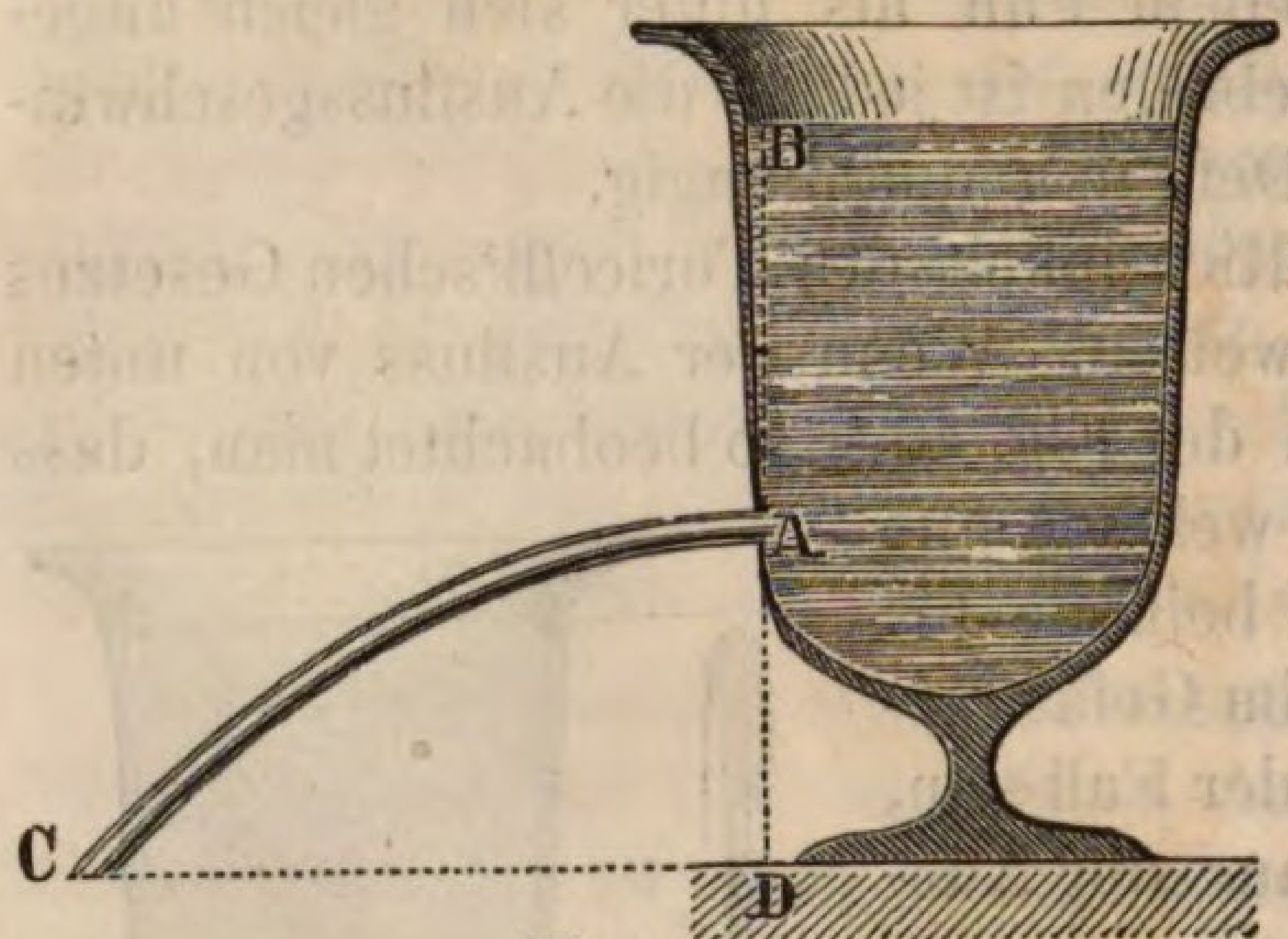


Fig. 403.

Vollkommen stimmen die auf dem Wege des Versuchs für die Ausflussgeschwindigkeit erhaltenen Resultate mit denen aus der Formel $v = \sqrt{2gh}$ berechneten theoretischen niemals überein: sie sind gegen diese letzteren immer etwas zu klein. Diess rührt offenbar von den Hindernissen, welche die Flüssigkeit beim Ausfluss erfährt, her; Hindernisse, die theils aus der Reibung der Flüssigkeit an den Wänden der Oeffnung und des Gefässes, theils aus der eigenen, niemals ganz beseitigten Klebrigkeit der Flüssigkeit, theils endlich auch aus den oft mehr oder weniger raschen Richtungsänderungen, welche die Flüssigkeitsfäden vor und bei dem Ausfluss zu erfahren haben, entspringen. Diese Hindernisse können zwar durch gutes Poliren der Wände der Ausflussöffnung, oder dadurch, dass man die Wand an der Stelle, wo diese Oeffnung angebracht

ist, sehr dünn nimmt, endlich noch dadurch, dass man die Form des Gefässes in der Nähe der Ausmündung so wählt, dass die Richtung der Flüssigkeitsfäden nur eine allmälige Aenderung erfährt (wie etwa in Fig. 401), sehr vermindert, aber nie völlig beseitigt werden. So hat man selbst unter den günstigsten Umständen die wirkliche Ausflussgeschwindigkeit des Wassers höchstens zu 96 bis 98 Procent von der theoretischen erhalten können. Man muss daher in jedem Fall die theoretische Ausflussgeschwindigkeit mit einer Zahl kleiner als Eins, die man gewöhnlich den Geschwindigkeits-Coëfficienten nennt, multipliciren, um die wirkliche Ausflussgeschwindigkeit zu erhalten.

§. 301. Die Menge der Flüssigkeit, welche in einer Secunde aus der Oeffnung strömt, oder, wie man sie kurz nennt, die Ausflussmenge, hängt offenbar von der Grösse der Oeffnung und von der Ausflussgeschwindigkeit ab. Wenn die Flüssigkeit nach ihrem Austritt aus dem Gefässe der Wirkung der Schwerkraft entzogen wäre und sich allein in Folge der schon gewonnenen Geschwindigkeit bewegen würde, so würde die in einer Secunde austretende Flüssigkeitsmenge einen Cylinder bilden, dessen Höhe gleich der Ausflussgeschwindigkeit wäre. Indem man die Oeffnung selbst als Basis dieses Cylinders betrachtet, sieht man, dass die Ausflussmenge erhalten wird, wenn man den Querschnitt der Oeffnung mit der Ausflussgeschwindigkeit multiplicirt. Nun ist klar, dass die so erhaltene Ausflussmenge auch dann noch richtig ist, wenn die Flüssigkeit nach ihrem Austritt aus der Oeffnung fortfährt der Wirkung der Schwere zu folgen; denn die Bedingungen, unter welchen der Ausfluss stattfindet, werden offenbar durch die verschiedenen Umstände, unter denen sich die Flüssigkeit befinden kann, nachdem sie das Gefäss verlassen hat, in Nichts geändert. Wenn also z. B. der Querschnitt der Oeffnung 2 Quadrat-Centimeter beträgt und dieselbe befindet sich $0^m,50$ unter dem Spiegel der Flüssigkeit im Gefäss, so ist die Ausflussmenge gleich 626,4 Cubik-Centimeter ($2 \times 313,2$); denn die der Höhe $0^m,50$ entsprechende Geschwindigkeit ist $3^m,132$ oder auch 313,2 Centimeter (§. 98).

Wenn die Ausflussöffnung in einer dünnen Wand angebracht ist, so ist die Flüssigkeitsmenge, welche sich wirklich in einer Secunde aus der Oeffnung ergiesst, weit unterhalb der, welche man auf die so eben angegebene Weise erhält. Die wirkliche Ausflussmenge ist nicht grösser als 0,62 der theoretischen d. h. derjenigen, welche man erhält, wenn man den Querschnitt der Oeffnung mit der Ausflussgeschwindigkeit multiplicirt. Sehen wir, welcher Ursache diese bedeutende Differenz zugeschrieben werden muss.

Wir haben oben gesagt, dass, wenn die Flüssigkeit nach ihrem Austritt aus dem Gefässe der Wirkung der Schwere entzogen wäre, die in einer Secunde ausfliessende Flüssigkeitsmenge einen Cylinder bilden würde, der zur Höhe die Ausflussgeschwindigkeit hat; wir haben hierauf das Volumen dieses Cylinders berechnet, indem wir die Ausflussöffnung als seine Basis annahmen. Dieser letzte Punkt ist es, bei dem wir einen Fehler begangen haben; die Basis unseres Flüssigkeits-Cylinders ist sehr erheblich kleiner, als wir vorausgesetzt haben. Die Flüssigkeitsfäden im Innern des Gefässes convergiren sämmtlich gegen die Ausflussöffnung, und diese Convergenz verschwindet natürlich nicht plötzlich in dem Augenblick, wo sie die Ausflussöffnung erreichen; sie besteht noch in einer gewissen Entfernung von dieser Oeffnung. Daraus folgt aber nothwendig, dass der Flüssigkeitsstrahl an seinem Anfang nicht die Form eines Cylinders haben kann; er zieht sich etwas zusammen, bevor er in die Cylinderform übergeht. Wir sollten also für die Basis des Cylinders, von dem wir oben gesprochen haben, eigentlich nicht den Querschnitt der Oeffnung, sondern vielmehr den Querschnitt des zusammengezogenen oder contrahirten Wasserstrahls, den sogenannten Contractions-Querschnitt nehmen. Man begreift nun daraus, woher es kommt, dass die wirkliche Ausflussmenge so bedeutend unter der theoretischen bleibt, wie wir oben gesehen haben. Indessen werden wir, ungeachtet des Fehlers, den wir in obiger Schlussfolgerung, durch welche wir die in einer Secunde ausfliessende Flüssigkeitsmenge fanden, begangen haben, den Namen theoretische Ausflussmenge für das Produkt aus dem Querschnitt der Oeffnung in die Ausflussgeschwindigkeit der Flüssigkeit beibehalten.

Messungen, die von verschiedenen Flüssigkeitsstrahlen, die aus kreisförmigen Oeffnungen in einer dünnen Wand hervorsprangen, angestellt wurden, ergaben im Mittel folgende Resultate. Wenn der Durchmesser *ab* (Fig. 404) der Oeffnung in 10 gleiche Theile getheilt wird, so enthält der Durchmesser *cd* des Contractions-Querschnitts 8 solcher Theile und die Distanz *ef* dieses Querschnitts von der Oeffnung 5. Die Grösse des Contractions-Querschnitts beträgt also im Mittel 0,64 von der Grösse der Oeffnung, und wenn man diesen Querschnitt, oder den 0,64[ten] Theil des Querschnitts der Oeffnung mit der Ausflussgeschwindigkeit multiplicirt, so erhält man ein Resultat, welches

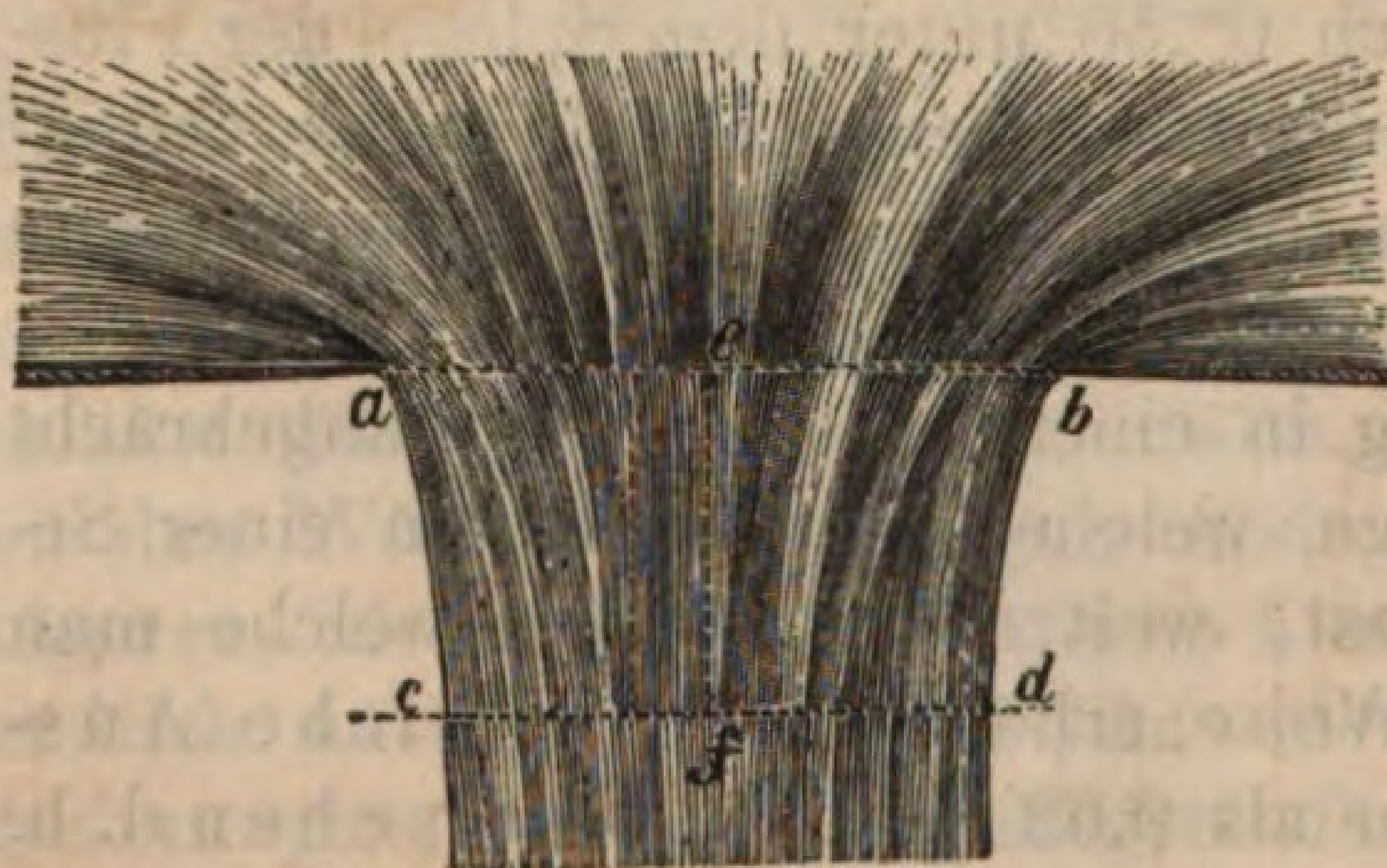


Fig. 404.

sehr nahe mit dem übereinstimmt, welches eine direkte Messung des ausfliessenden Flüssigkeitsquantums liefert. Der Unterschied des auf diese Weise berechneten Resultats (0,64 der theoretischen Ausflussmenge) und der direkt durch den Versuch bestimmten Ausflussmenge (0,62 der theoretischen) ist offenbar der schon oben berührten Verzögerung der Geschwindigkeit des Flüssigkeitsstrahls zuzuschreiben.

Man nennt die Zahl, mit welcher man die theoretische Ausflussmenge multipliciren muss, um die wirkliche zu erhalten, wie also z. B. die oben für Oeffnungen in dünner Wand angegebene Zahl 0,62, den Ausfluss-Coëfficienten. Dem Verhältniss zwischen dem Contractions-Querschnitt und dem Querschnitt der Ausflussöffnung, wie also der oben angegebenen Zahl 0,64, gibt man gewöhnlich den Namen Contractions-Coëfficient. Aus dem Vorhergehenden folgt klar genug, dass der Ausfluss-Coëfficient immer gleich dem Produkt aus dem Contractions-Coëfficienten in den Geschwindigkeits-Coëfficienten zu setzen ist.

§. 302. Vom Contractions-Querschnitt an erhält der Flüssigkeitsstrahl, je nach der Richtung, in welcher der Ausfluss erfolgt, verschiedene Formen; betrachten wir im Folgenden speciell einen vertikalen Strahl, der einer am untersten Theil eines Gefässes angebrachten Oeffnung entspricht, etwas genauer. Wir haben oben gesagt, dass der Flüssigkeitsstrahl, nachdem er sich in geringer Entfernung von der Oeffnung in der angegebenen bedeutenden Weise zusammengezogen hat, nahezu cylinderisch wird; in Wirklichkeit tritt diess für den Strahl, mit dem wir uns beschäftigen, nicht genau ein. Die Querschnitte dieses Strahles vermindern sich fortwährend in dem Maasse, als sie weiter entfernt von der Oeffnung genommen werden; der Flüssigkeitsstrahl zieht sich fortwährend zusammen bis zu dem Moment, wo er sich in Tropfen auflöst. Aber diese Zusammenziehung, welche in der ganzen Länge des Strahls stattfindet, entspringt aus einer andern Ursache als aus der Contraction, welche zunächst an der Oeffnung hervorgebracht wird. Sie ist viel geringer als diese, und bei einer genauen Beobachtung des Strahls unterscheidet man gar wohl den Punkt, wo die eine aufhört und die andere beginnt.

Um uns von der Ursache, durch welche die Form des Strahls von einem Punkt zum andern geändert wird, Rechenschaft zu geben, denken wir uns, dass die Flüssigkeitsmoleküle isolirt von einander mit gleicher Geschwindigkeit aus der Oeffnung treten, und dass sie in unter sich gleichen Zeitintervallen, etwa in zehntel Secunden, auf einander folgen. Diese Moleküle fallen alle die näm-

liche Vertikale herab, und es ist leicht einzusehen, dass die Entfernungen zwischen je zweien in dem Maasse zunehmen müssen, als sie sich von der Oeffnung entfernen; denn während sie herabfallen, nimmt ihre Geschwindigkeit ja fortwährend zu und doch braucht jedes überall dieselbe Zeit, eine zehntel Secunde, um die Stelle des ihm vorhergehenden Moleküls einzunehmen. Bei dem Ausfluss einer Flüssigkeit, wie er wirklich stattfindet, sind die Flüssigkeitsmengen, welche in jeder zehntel Secunde aus der Oeffnung austreten, alle unter sich gleich. Wenn diese Flüssigkeitsmengen sich trennen würden, so dass sie isolirte Tropfen bildeten, so würden sich dieselben im Herabfallen allmälig immer weiter von einander entfernen, wie die isolirten Moleküle, von denen wir eben gesprochen haben. Aber die Flüssigkeitsmengen, welche so während jeder zehntel Secunde aus der Oeffnung hervortreten, trennen sich nicht von einander; sie bleiben zusammenhängend und bilden einen continuirlichen Strahl, und weil sich ihre gegenseitigen Entfernungen, wenn sie isolirt von einander wären, allmälig vergrössern müssten, so können sie nur unter der Bedingung mit einander vereinigt bleiben, dass sie sich, in dem Maasse, wie sie herabfallen, mehr und mehr verlängern. Diese Verlängerung aber, welche jeder Theil des Flüssigkeitsstrahls, indem er sich von der Oeffnung entfernt, erfährt, zieht nothwendig eine entsprechende Verminderung seines Querschnitts nach sich. Diess ist die Ursache der allmäligen Verengerung des in Rede stehenden Flüssigkeitsstrahls von dem Querschnitt an, dem wir den Namen Contractions-Querschnitt gegeben haben. Die Fig. 405 soll eine Idee von der Gestalt dieses Strahls geben.

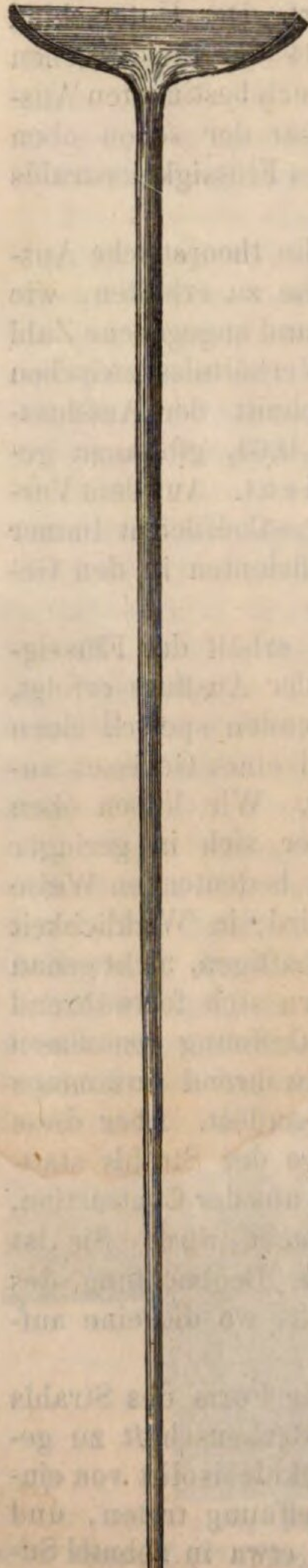


Fig. 405.

Wenn keine besonderen Ursachen vorhanden sind, welche die Form eines vertikalen Flüssigkeitsstrahls, wie wir sie soeben gefunden haben, abändern, so erhält dieser eine bedeutende Länge, indem er sich mehr und mehr ausfasert, und löst sich erst in grosser Entfernung von der

Oeffnung in Tropfen auf. Aber gewöhnlich entstehen auf der Oberfläche des Strahls Wellen, ähnlich denjenigen, welche man auf der Oberfläche eines ruhig stehenden Wassers beobachtet, auf welche man einen Stein fallen liess. Diese Wellen bringen aufeinanderfolgende Erweiterungen und Verengerungen des Strahls, sogenannte Knoten, hervor (Fig. 406), welche um so augenfälliger werden, je dünner der Strahl wird, und es tritt schon in verhältnissmässig geringer Entfernung der Fall ein, dass sich diese Knoten in Folge der vibrirenden Bewegung der Flüssigkeitstheilchen von einander entfernen und in Form von Tropfen isoliren. Wenn man die Ursachen der vibrirenden Bewegung der Flüssigkeitstheilchen so viel als möglich beseitigt, so erhält man einen Strahl, der auf eine grosse Länge continuirlich bleibt; wenn man dagegen in der Luft, welche den Strahl umgibt, irgend solche Vibrationen, mittelst musikalischer Instrumente z. B., hervorruft, so sieht man, wie sich der Strahl bedeutend verkürzt und in viel geringerer Entfernung von der Oeffnung in Tropfen auflöst.


Fig. 406.

Aehnliche Betrachtungen, wie diejenigen, welche wir soeben für vertikal abwärts gehende Strahlen angestellt haben, können wir auch bei vertikal aufwärts steigenden anwenden. Man sieht dann, dass sich ein solcher Flüssigkeitsstrahl, nachdem er sich bei seinem Austritt aus der Oeffnung in Folge der Convergenz der Flüssigkeitsfäden, aus denen er besteht, zusammen gezogen hat, wieder mehr und mehr erweitert, da die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsmoleküle, nachdem sie aus der Oeffnung getreten sind, in dem Maasse abnimmt, als sie sich erheben. Was die Vibrationen anbelangt, von denen wir gesprochen haben, und welche auf die Theilung des ab-

wärts gehenden Strahls in Tropfen so grossen Einfluss haben, so bringen dieselben in dem aufsteigenden Strahl nur eine geringe Wirkung hervor, da der Querschnitt desselben, indem er sich vom Contractions-Querschnitt an vergrössert anstatt verkleinert, niemals klein genug ist, um die Wirkung dieser Vibrationen deutlich genug hervortreten zu lassen.

§. 303. Das, was wir bisher bezüglich der Ausflussgeschwindigkeit einer Flüssigkeit aus einer Oeffnung gesagt haben, gilt ohne Unterschied, sowohl für den Fall, wo der Ausfluss im luftleeren Raume stattfindet (wie wir eigentlich bisher stillschweigend immer vorausgesetzt haben), als in dem Fall, wo er in der atmosphärischen Luft vor sich geht. Die Ausflussgeschwindigkeit bleibt stets dieselbe, welches auch der Druck ist, der auf die freie Oberfläche der Flüssigkeit im Gefäss ausgeübt wird, vorausgesetzt, dass der Flüssigkeitsstrahl bei seinem Austritt aus der Oeffnung von aussen her den nämlichen Druck erleidet. Dagegen wird die Ausflussgeschwindigkeit sehr verschieden von der, welche wir angegeben haben, wenn die Drückungen auf gleiche Flächenstücke der freien Oberfläche der Flüssigkeit und der Oeffnung ungleich gross sind.

Wenn der Druck auf die Oeffnung A grösser als der auf die freie Oberfläche BC der Flüssigkeit ist (Fig. 407), so muss der Ueberschuss des ersteren über den zweiten kleiner als der Druck einer Flüssigkeitssäule sein, welche den vertikalen Abstand der Oeffnung A unter der Oberfläche BC zur Höhe hat; denn ausserdem könnte die Flüssigkeit nicht durch diese Oeffnung ausfliessen. Denken wir uns daher eine Horizontalebene DE, welche unter der Oberfläche BC in solcher Entfernung von derselben durch die Flüssigkeit gelegt wurde, dass das Gewicht einer vertikalen Flüssigkeitssäule, die zwischen den beiden Ebenen steht und als Basis die Flächeneinheit hat, gleich dem Ueberschuss des Druckes ist, um welchen es sich handelt. Da die Grösse der Oeffnung, wie wir stets voraussetzen, im Verhältniss zur Weite des Gefässes nur klein ist, so ist die Bewegung der Flüssigkeit innerhalb des Gefässes eine so langsame, dass wir annehmen können, dass sich die Drückungen sehr nahezu auf dieselbe Weise fortpflanzen, als wenn die Flüssigkeit im Gleichgewicht wäre. Der Druck, welcher in irgend einem Punkt der Ebene DE ausgeübt wird, ist also gleich dem, welchen die Oberfläche BC zu tragen hat, vermehrt

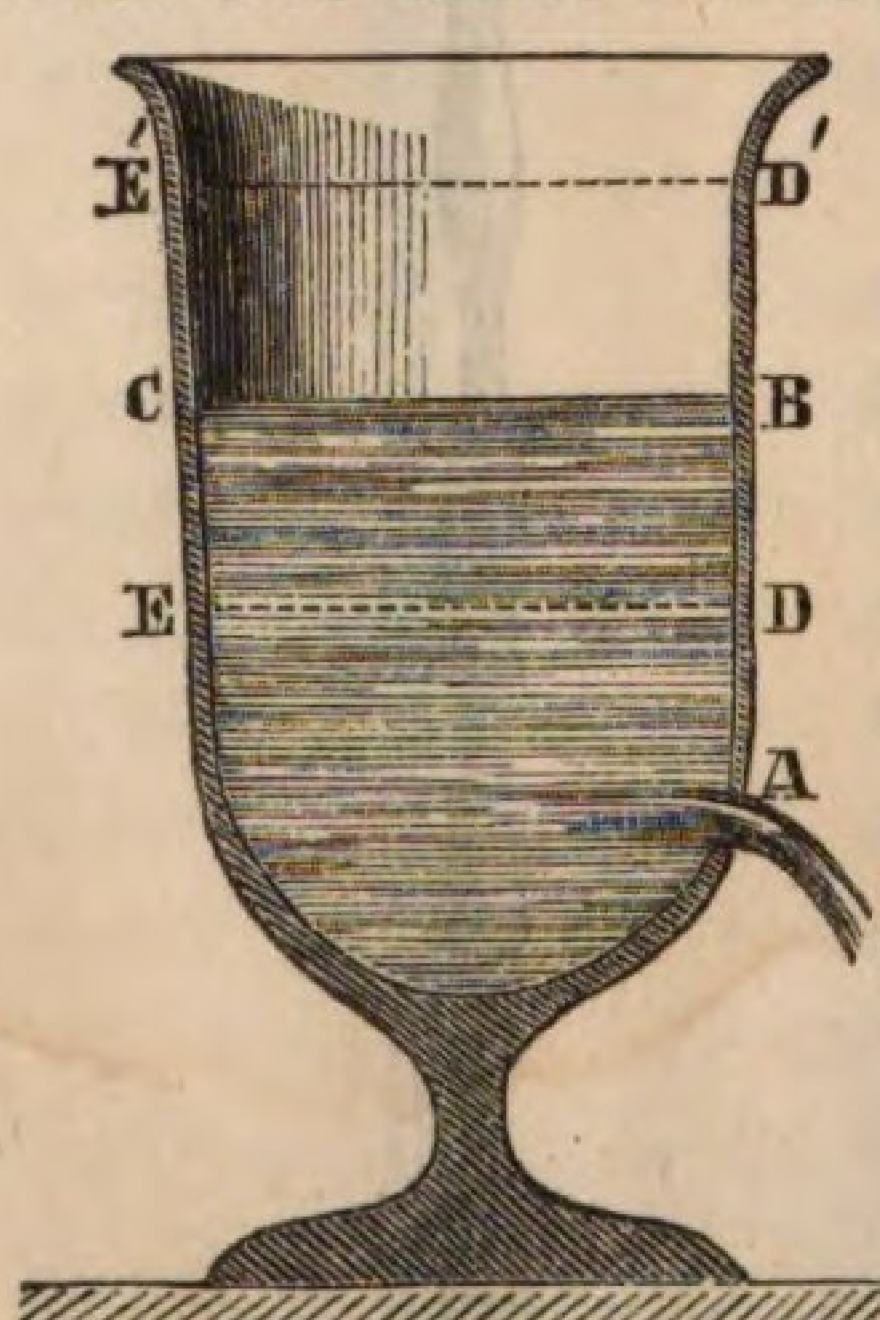


Fig. 407.

um die Differenz zwischen diesem letzteren Druck und demjenigen, welcher auf die Oeffnung A stattfindet; es ist also der Druck auf die Ebene DE der nämliche, wie der auf die Oeffnung A. Die unterhalb der Ebene DE gelegene Flüssigkeit ist daher unter den nämlichen Umständen, als wenn die zwischen BC und DE enthaltene Flüssigkeitsmasse weggenommen würde und die dadurch entstandene freie Oberfläche DE und die Ausflussöffnung A gleichen Drückungen ausgesetzt wären. Es wird folglich die Ausflussgeschwindigkeit noch durch die Formel $v = \sqrt{2gh}$ dargestellt, vorausgesetzt dass man für h die Höhe der Ebene DE über der Ausflussöffnung nimmt.

Wenn der Druck auf die Oberfläche BC der Flüssigkeit grösser als der auf die Oeffnung A ist, so kann man sich vorstellen, dass der Ueberschuss des Druckes auf die Fläche BC durch eine Flüssigkeit hervorgebracht wird, die, von derselben Natur wie die im Gefäss enthaltene, in entsprechender Höhe über dieser Fläche steht, und ihre freie Oberfläche etwa in D'E' hat. Der Ausfluss findet dann ganz auf dieselbe Weise statt, als wenn die freie Oberfläche der Flüssigkeit, anstatt in BC, in D'E' gelegen wäre, aber dafür nun denselben Druck zu erleiden hätte, wie er auf die Ausflussöffnung ausgeübt wird. Die Formel $v = \sqrt{2gh}$ gibt also auch hier wieder die Ausflussgeschwindigkeit, vorausgesezt, dass h den vertikalen Abstand der Oeffnung unter der Ebene D'E' bezeichnet.

In dem gewöhnlich vorkommenden Falle, wo das Gefäss in freier Luft steht und der Ausfluss gleichfalls in diese stattfindet, kann der Druck auf die Oberfläche der Flüssigkeit und auf die Oeffnung als gleich, nämlich gleich dem der atmosphärischen Luft betrachtet werden. Wenn aber der Druck auf die freie Oberfläche stärker oder schwächer als der der atmosphärischen Luft ist, oder wenn die Flüssigkeit aus der Oeffnung in einen allseitig geschlossenen Raum fliesst, in welchem die Luft verdichtet oder verdünnt wurde, oder der gar luftleer ist, so hat man die Verschiedenheit des Druckes auf die freie Oberfläche und auf die Oeffnung in der Weise in Rechnung zu ziehen, wie es soeben gezeigt wurde. Manchmal kommt es auch vor, dass der Ausfluss anstatt in die Luft oder in den luftleeren Raum, in eine Flüssigkeit stattfindet, die aber dann gewöhnlich von derselben Natur ist wie die ausfliessende; diess ist z. B. der Fall, wenn das Gefäss, aus welchem der Ausfluss geschieht, in einem zweiten so steht, dass sich seine Ausflussmündung unter der Oberfläche der Flüssigkeit in diesem Gefäss befindet (Fig 408). Auch in diesem Falle erhält man die Ausflussgeschwindigkeit noch aus der Formel $v = \sqrt{2gh}$,

nur hat man nun, wie leicht zu sehen, statt der Druckhöhe h die Höhendifferenz der beiden Spiegel AB und CD im innern und äusseren Gefäss zu setzen.

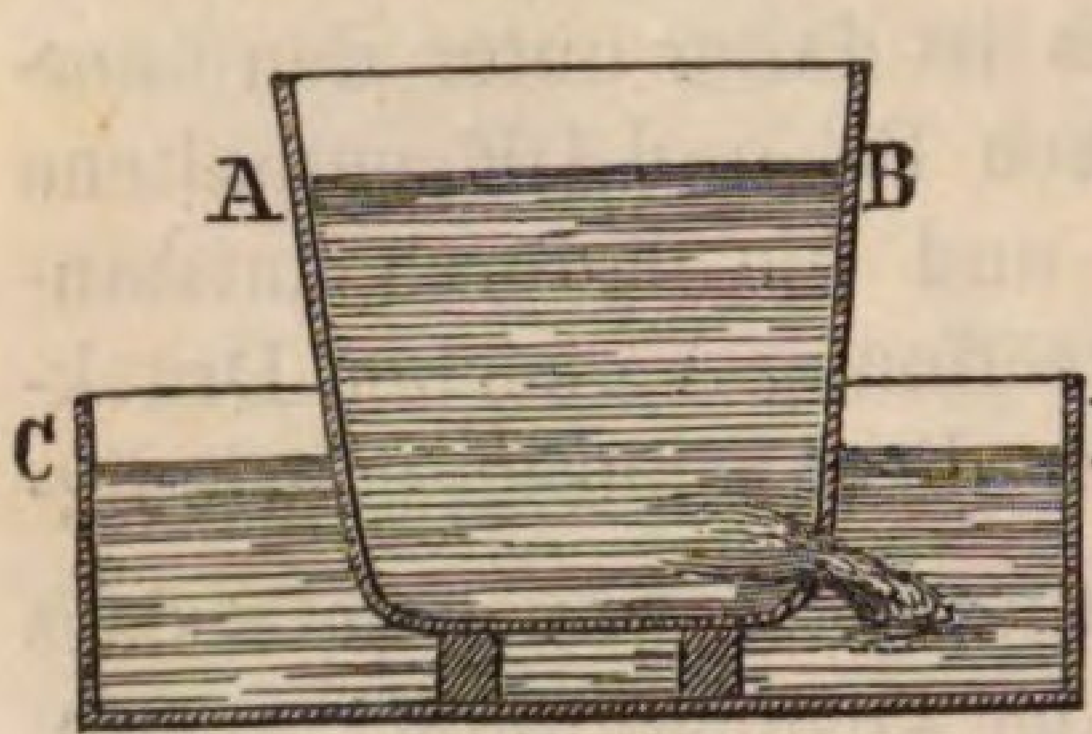
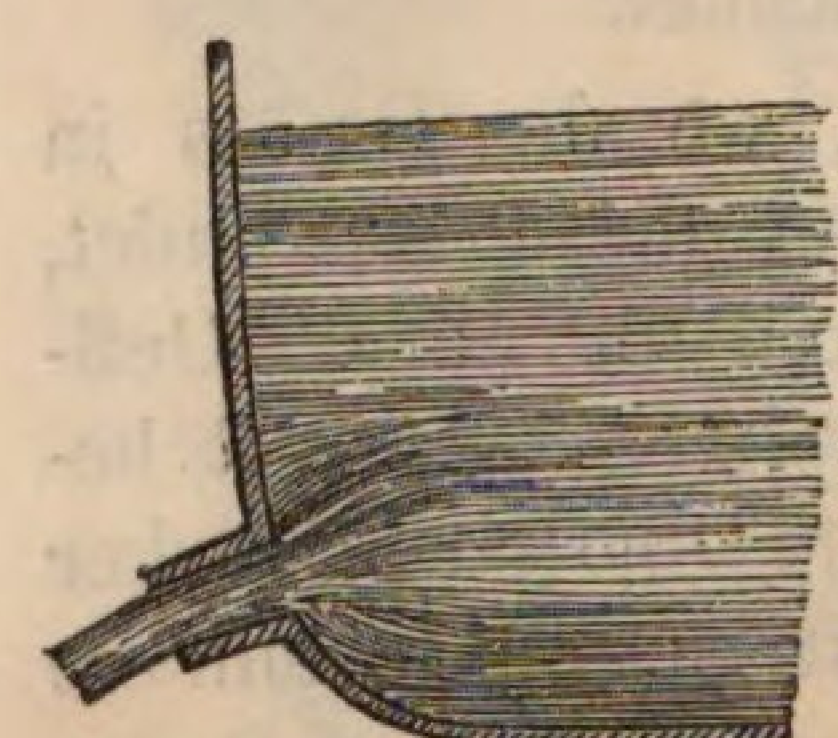


Fig. 408.

§. 304. Einfluss der Ansatzröhrchen auf die Ausflussmenge. — Wenn man an der Oeffnung, durch welche eine Flüssigkeit ausfliessen soll, ein kurzes Röhrenstückchen von cylindrischer oder konischer Form anbringt, so wird durch dieses Röhrchen, welches man kurz Ansatzröhrchen nennt, der Ausfluss in sehr merklicher Weise modificirt. In dem Fall, wo die Oeffnung eine Wand durchdringt, welche eine gewisse Dicke hat, befindet sich dieselbe natürlich unter den nämlichen Umständen, als wenn sie in einer dünnen Wand angebracht und mit einem Ansatzröhrchen versehen wäre, dessen Länge gleich der Dicke der ersteren Wand ist. Die Dicke der Wand, in welcher sich die Oeffnung befindet, hat also denselben Einfluss auf das Ausfliessen der Flüssigkeit wie ein Ansatzröhrchen, und aus diesem Grunde haben wir bisher vorausgesezt, dass die Ausflussöffnung in einer sehr dünnen Wand angebracht sei.

Wenn das Ansatzröhrchen cylindrisch ist (Fig. 409), so kann der Ausfluss auf zwei verschiedene Arten stattfinden: entweder werden die Wände des Ansatzröhrchens von der es durchströmenden Flüssigkeit gar nicht berührt, oder sie werden von dieser Flüssigkeit benetzt. In dem ersten Fall ist der Vorgang genau so, als wenn die Oeffnung in einer dünnen Wand gemacht wäre; der Strahl zieht sich anfangs zusammen, um hierauf eine nahezu cylindrische Form anzunehmen; er erfüllt nicht den ganzen innern Raum des Röhrchens, und dieses könnte daher auch abgenommen werden, ohne dass im Geringsten dadurch etwas an dem Ausflusse geändert würde. In dem zweiten Fall, der gewöhnlich stattfindet, erhält der Flüssigkeitsstrahl eine ganz verschiedene Form von derjenigen, welche er ohne Ansatzröhrchen annehmen würde; die Adhäsion der Flüssigkeit an den Wänden des Röhrchens zwingt den Strahl, den ganzen inneren Raum des Ansatzröhrchens auszufüllen: dieser Strahl nimmt also, anstatt sich zusammenzuziehen, wie er es thun würde, wenn die Oeffnung in einer dünnen Wand angebracht wäre, sogleich die Form eines Cylinders an, der zur Basis die Ausflussöffnung selbst hat.


Fig. 409.

Wenn man die Flüssigkeitsmenge misst, welche sich während einer Secunde durch ein Ansatzröhrchen, dessen Wände von der Flüssigkeit benetzt werden, ergiesst, so findet man, dass die Ausflussmenge durch die Wirkung des Ansatzröhrchens bedeutend vermehrt wird; sie ist nun ungefähr 0,82 der theoretischen Ausflussmenge (§. 301), während sie, wenn der Ausfluss durch eine Oeffnung in einer dünnen Wand stattfindet, nur 0,62 jener Ausflussmenge ist. Die Ursache dieser Vergrösserung der Ausflussmenge ist nicht schwer einzusehen. Wir haben gesehen, dass in dem Fall, wo der Ausfluss durch eine Oeffnung in dünner Wand stattfindet, die wirkliche Ausflussmenge hauptsächlich desshalb so weit unter der theoretischen bleibt, weil sich der Flüssigkeitsstrahl zusammenzieht und in Folge dessen sein Querschnitt nach der Contraction bedeutend kleiner als derjenige der Oeffnung ist, welche er durchdringt. Indem also das Ansatzröhrchen die Contraction des Strahls verhindert, ist es ganz natürlich, dass durch seine Gegenwart eine Vermehrung der Ausflussmenge hervorgebracht wird. Die Ursache, in Folge deren wir oben die theoretische Ausflussmenge zu gross gefunden haben (§. 301), verschwindet hier vollständig. Aber wenn diess der Fall ist, so fragt man mit Recht, warum im Falle eines Ansatzröhrchens die wirkliche Ausflussmenge der theoretischen nicht vollständig gleich, sondern nur 0,82 derselben ist. Der Grund davon liegt darin, dass durch den Einfluss des Ansatzröhrchens nicht blos der Querschnitt des Strahls modificirt und dem der Ausflussöffnung gleich gemacht wird, sondern dass dasselbe zu gleicher Zeit, und zwar verzögernd, auf die Geschwindigkeit der ausfliessenden Flüssigkeit einwirkt; diese Geschwindigkeit ist in Wirklichkeit kleiner als sie durch die Formel $v = \sqrt{2gh}$ geliefert wird. Um aber Das, was wir die theoretische Ausflussmenge genannt haben, zu erhalten, haben wir die Menge der in einer Secunde ausfliessenden Flüssigkeit als einen Cylinder betrachtet, der zur Basis die Oeffnung selbst und zur Höhe die Geschwindigkeit $\sqrt{2gh}$ hat. Wir haben gesehen, dass das auf diese Art erhaltene Resultat in dem Falle, wo der Ausfluss durch eine Oeffnung in dünner Wand geschieht, hauptsächlich desshalb ungenau ist, weil man für die Basis jenes Flüssigkeitscylinders den Contractions-Querschnitt des Strahls und nicht den der Oeffnung nehmen muss. Die Wirkung des Ansatzröhrchens macht die Basis des Flüssigkeitscylinders der Oeffnung wieder gleich, aber sie vermindert zu gleicher Zeit die Höhe dieses Cylinders. Indessen wird die Höhe des Flüssigkeitscylinders nicht in dem Verhältniss vermindert, in welchem die Basis

desselben vergrössert wird, und im Ganzen wird durch das Ansatzröhrchen also doch eine Vermehrung der Ausflussmenge zu Stande gebracht.

Wir haben nun die Ursache der durch cylindrische Ansatzröhrchen hervorgebrachten Verminderung der Ausflussgeschwindigkeit der Flüssigkeit anzugeben. Diese Verminderung entspringt nämlich nicht blos aus den Hindernissen, welche sich der Bewegung der Flüssigkeitsmoleküle in Folge ihrer Reibung an den Röhrenwänden, sowie in Folge der stets vorhandenen, wenn auch meist nur äusserst geringen Klebrigkeit der Flüssigkeit selbst entgegensetzen, sondern bei weitem zum grössten Theil aus einem anderen Umstande, den wir eben jetzt erörtern wollen. Wir haben gesagt, dass die Contraction, welche ein Flüssigkeitsstrahl bei seinem Austritt aus einer Oeffnung in dünner Wand erleidet, von der Convergenz der Flüssigkeitsfäden herrührt, welche dieselben in dem Augenblick besitzen, wo sie in die Oeffnung treten, und die sie erst in gewisser Entfernung von dieser Oeffnung vollständig verlieren. Indem das cylindrische Ansatzröhrchen die Contraction des Strahls verhindert, nöthigt es die Flüssigkeitsfäden, in dem Augenblick, wo sie durch die Oeffnung hindurch gehen, plötzlich ihre Richtung zu wechseln. Diese Fäden befinden sich also unter denselben Umständen, als wenn sie einen Stoss erführen, der so auf sie ausgeübt wird, dass er eben jenen plötzlichen Wechsel der Richtung hervorbringt. Nun haben wir gesehen (§. 162), dass Stösse im Allgemeinen einen Verlust an Arbeit hervorrufen. Die Flüssigkeitsmoleküle können also in dem Augenblick, wo sie das Ansatzröhrchen durchlaufen, nicht die ganze Geschwindigkeit mehr haben, die sie ohne diesen Umstand besitzen würden; sie müssen sich so bewegen, als wenn sie, bei abgenommenem Ansatzröhrchen, eine geringere Höhe herabgefallen wären. Dass diese Erklärung richtig ist, zeigt der Umstand, dass, wenn man dem Ansatzröhrchen die Gestalt des contrahirten Strahls gibt, wie es Fig. 410 zeigt, sodass eine plötzliche Richtungsänderung der Flüssigkeitsfäden nicht mehr stattfindet, die wirkliche Ausflussmenge auf 96 bis 98 Procent der theoretischen erhöht wird. Der Unterschied, welcher zwischen der durch diese Zahlen angegebenen wirklichen Ausflussmenge und der theoretischen noch besteht, rührt offenbar von den bereits oben erwähnten Hindernissen, welche sich der Bewegung der Flüssigkeitsmoleküle durch das Röhrchen entgegensetzen, her.

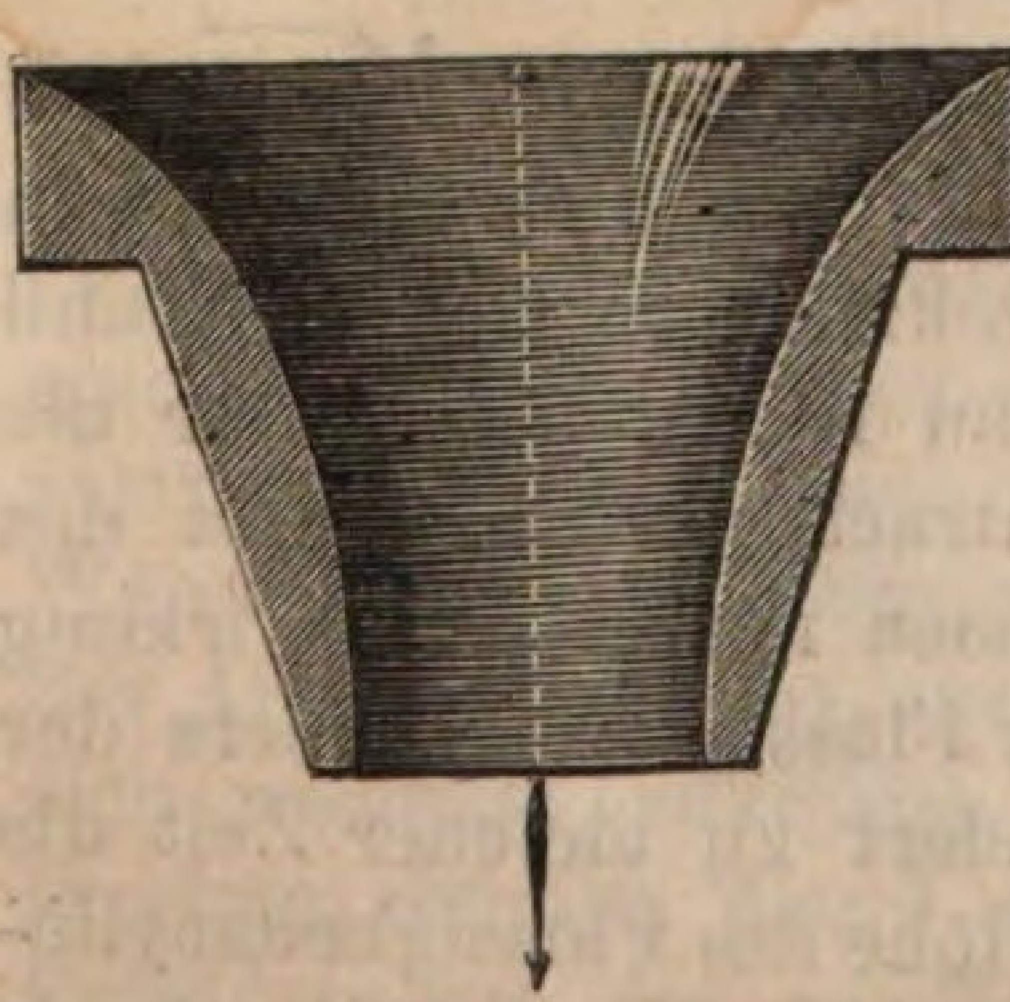


Fig. 410.

Der plötzliche Wechsel, welchen die Flüssigkeitsfäden in dem Moment, wo sie in dem Ansatzröhrchen ankommen, erfahren, kommt nicht zu Stande, ohne dass die Flüssigkeit eine Gegenwirkung auf die Wände dieses Ansatzröhrchens äussert. Diese Reaction, eine Art von Centrifugalkraft, veranlasst eine Verminderung des Druckes, welchen die Flüssigkeit gegen diese Wände ausübt; der Druck, welcher in dem Ansatzröhrchen nahe bei seiner Einmündung AB (Fig. 411) stattfindet, ist folglich kleiner als der der atmosphärischen Luft. Diess sieht man leicht, wenn man oben an dem Ansatzröhrchen eine Glasröhre C anbringt, welche sich bald abwärts krümmt und in ein Gefäss mit Quecksilber taucht. Während des Ausflusses der Flüssigkeit sieht man das Quecksilber in dieser Röhre steigen und sich in bestimmter Höhe über dem äusseren Niveau halten. Durch den Durchfluss der Flüssigkeit durch das Ansatzröhrchen wird also eine Art von Saugen an den Wänden dieses Röhrchens hervorgebracht und dadurch das Quecksilber in der Röhre C gehoben.

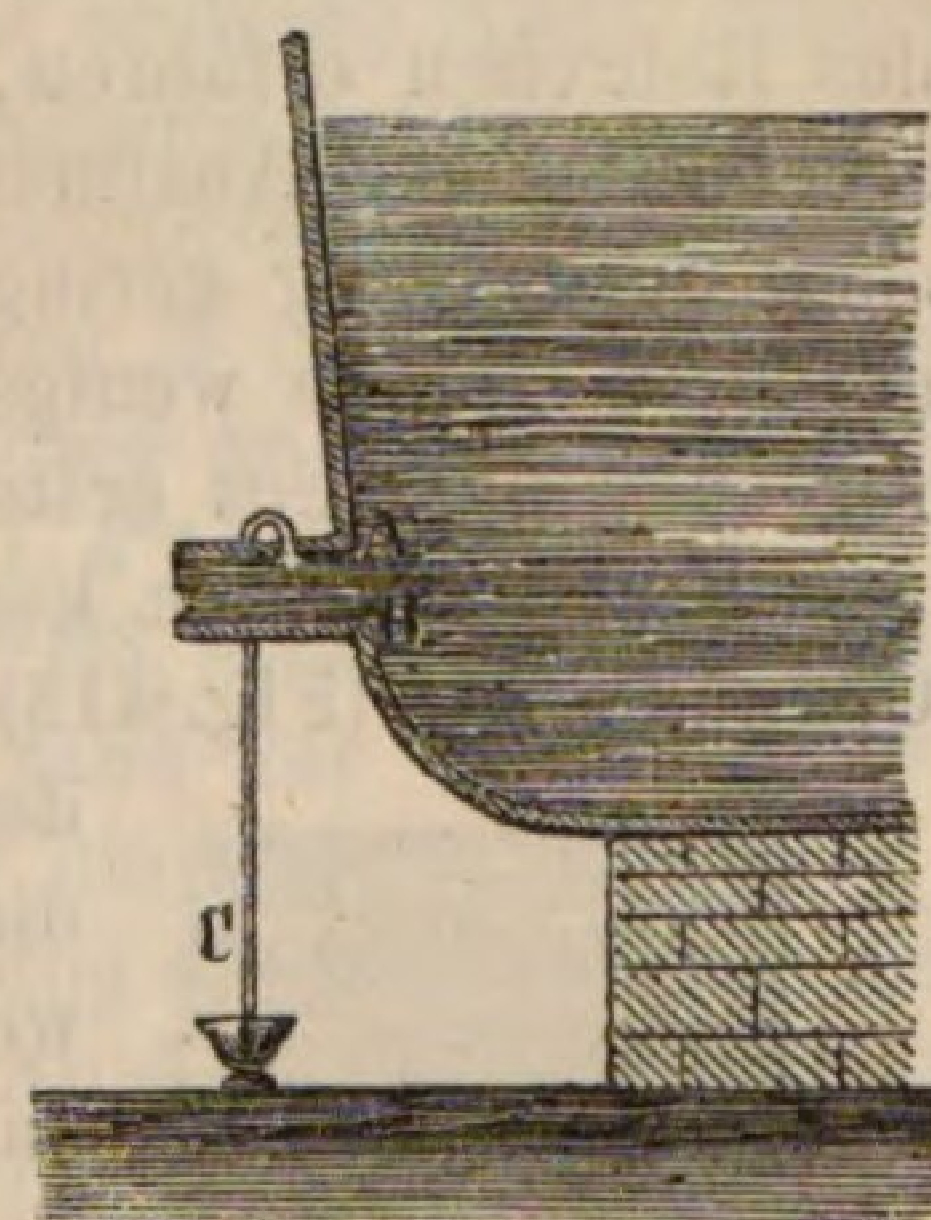


Fig. 411.

§. 305. Die Einsicht, welche wir durch das Vorhergehende in die Wirkungsweise cylindrischer Ansatzröhrchen erhalten haben, führt uns nun auch zum leichteren Verständniss des Vorgangs, welcher stattfindet, wenn die Flüssigkeit durch Ansatzröhrchen von verschiedener Form ausfliesst.

Ein konisches convergentes Ansatzröhrchen (Fig. 412) hat einen mehr oder weniger grossen Einfluss auf das Ausfliessen der Flüssigkeit, je nachdem bei der nämlichen Länge des Röhrchens der Unterschied der Durchmesser seiner beiden Grundflächen mehr oder weniger gross ist. Man hat durch Versuche festzustellen gesucht, welche Form ein solches Ansatzröhrchen erhalten muss, damit bei einer gleichbleibenden Ausmündung AB desselben die Ausflussmenge die grösstmöglichste wird. Das Resultat war, dass in diesem Fall die beiden entgegengesetzten Seitenlinien AC und BD des Kegels einen Winkel von 13 bis 14 Grad mit einander bilden müssen; in diesem Verhältniss wurde die Fig. 412 construirt. Bei Anwendung eines solchen Ansatzröhrchens erhält man eine wirkliche Ausflussmenge, welche 0,95 der theoretischen ist, vorausgesetzt natürlich, dass der letzteren die Ausmünd-

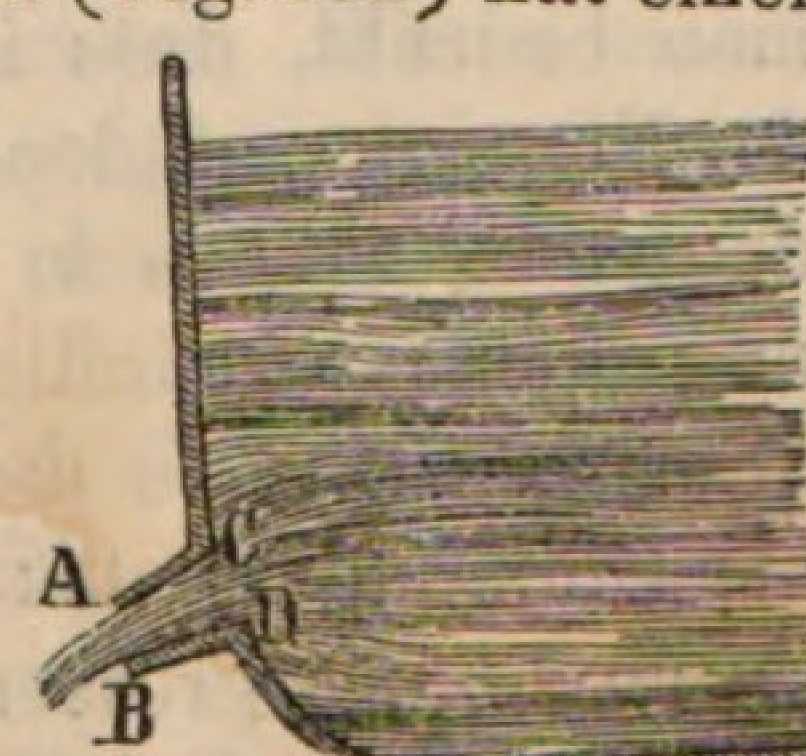


Fig. 412.

ung AB zu Grunde gelegt wird. Für einen grösseren Winkel sowohl wie für einen kleineren wird die Ausflussmenge geringer. Es ist leicht, sich über dieses Resultat Rechenschaft zu geben: Erstens ist die Contraction des Flüssigkeitsstrahls bei seinem Austritt aus der Oeffnung AB um so geringer, je weniger die Flüssigkeitsfäden gegen einander convergiren, je mehr sich also die Gestalt des Ansatzröhrchens der cylindrischen nähert; zweitens dagegen ist der plötzliche Wechsel, den die Flüssigkeitsfäden bei ihrem Eintritt in das Röhrchen erfahren, und folglich die dadurch veranlasste Verminderung der Ausflussgeschwindigkeit in konischen Ansatzröhrchen nothwendig geringer als in cylindrischen und, bis zu einer gewissen Grenze wenigstens, um so geringer, je grösser der Convergenzwinkel des ersteren ist.

Wenn man ein konisches divergentes Ansatzröhrchen an einer Oeffnung AB (Fig. 413) anbringt, und seine Wände werden von der ausfliessenden Flüssigkeit benetzt, so kommt die wirkliche Ausflussmenge der theoretischen, welche der Einmündnng AB in das Röhrchen entspricht, bedeutend näher, ja sie kann diese sogar noch übertreffen. Wenn man aber der theoretischen Ausflussmenge den grösseren Querschnitt der Ausmündung des Röhrchens zu Grunde legt, so bleibt die wirkliche Ausflussmenge weit hinter der theoretischen zurück, weiter als in all' den Fällen, die wir bisher gehabt haben. Es wird folglich die Ausflussgeschwindigkeit der Flüssigkeit an der Ausmündung des Röhrchens in Folge der Divergenz des letzteren verkleinert, und wenn man bedenkt, dass in diesem Falle die Aenderung in der Richtung der Flüssigkeitsfäden, welche das Röhrchen durchdringen, viel bedeutender ist als in den früheren Fällen, so hat diese Verminderung der Geschwindigkeit durchaus nichts Befremdendes. In dem Maasse aber, als die Flüssigkeit das divergente Röhrchen von seiner Einmündung bis zu seiner Ausmündung durchströmt, muss sie durch immer grössere und grössere Querschnitte hindurch fliessen; ihre Geschwindigkeit muss sich also, wie man leicht sieht, mehr und mehr verkleinern. Der Querschnitt an der Einmündung des Röhrchens wird also mit grösserer Geschwindigkeit durchströmt, als der an seiner Ausmündung; die Erweiterung des Röhrchens nach aussen bringt so zu sagen eine Art von Saugen an der Oeffnung AB hervor. Es ist nun leicht denkbar, dass die durch die plötzlichen Richtungsänderungen der Flüssigkeitsfäden hervorgebrachte Verminderung der Ausflussgeschwindigkeit von der an der Oeffnung AB

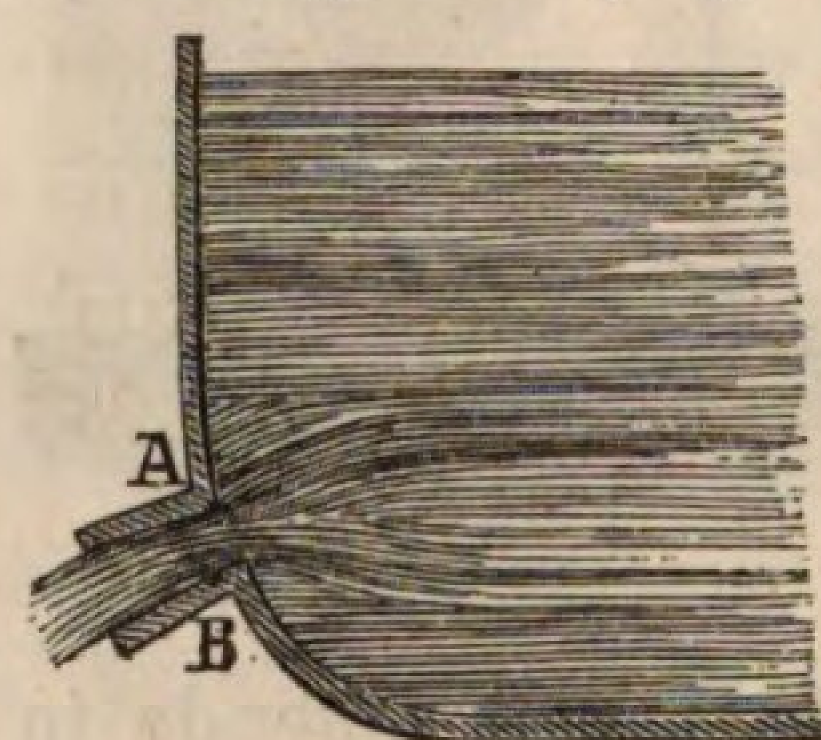


Fig. 413.

eintretenden Vermehrung derselben mehr als aufgewogen wird, und dass diese letztere Vermehrung sogar so gross werden kann, dass die wirkliche Ausflussmenge die theoretische (für diese letztere die Einmündung AB zu Grunde gelegt) übertrifft.

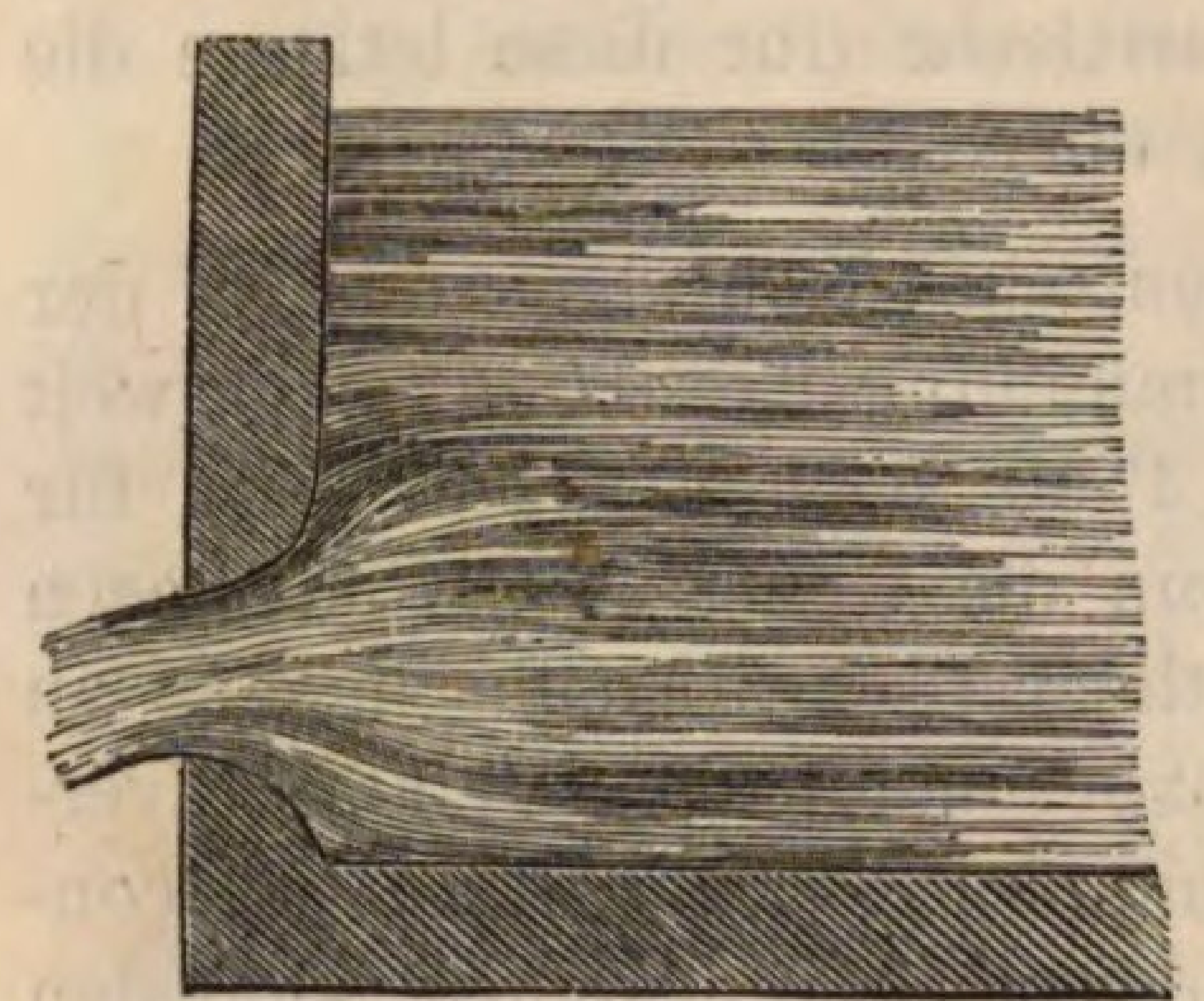
Für ein 9 Centimeter langes konisches Röhrchen, das an der Einmündung 2,468 und an der Ausmündung 3,228 Centimeter weit war, dessen Convergenzwinkel also $4^0\,50'$ betrug, erhielt man für den Ausfluss-Coëfficienten 0,553, wenn die weitere, 0,946 dagegen wenn die engere Mündung bei der theoretischen Ausflussmenge zu Grunde gelegt wurde. Eytelwein experimentirte mit einem divergenten Röhrchen, das an seiner Einmündung G die Form des contrahirten Strahls hatte (Fig. 414), und welches an seinem kleinsten Querschnitt K $2^{cm},616$, an seinem grössten L $4^{cm},686$ weit war; die Länge desselben betrug $23^{cm},05$, sein Convergenzwinkel also $5^0\,9'$. Eytelwein fand für den Ausfluss-Coëfficienten 0,483, wenn er die weitere, und 1,553, wenn er die engere Mündung der theoretischen Ausflussmenge zu Grunde legte. Bei kleineren Ausflussgeschwindigkeiten und bei grösserer Divergenz ist es übrigens bald nicht mehr möglich, selbst durch vorhergegangenes Zuhalten der Röhrchen den vollen Ausfluss herbeizuführen.



Fig. 414.

§. 306. Wenn man die Geschwindigkeit, mit welcher eine Flüssigkeit aus einer Oeffnung fliesst, dazu benützen will, um eine gewisse Wirkung damit zu erzielen, um z. B. ein Wasserrad damit zu bewegen, so ist es wichtig, alle Geschwindigkeitsverluste, welche die plötzlichen Aenderungen in der Richtung der Flüssigkeitsfäden stets begleiten, so viel als möglich zu vermeiden. Wenn man die Oeffnung in einer Wand ohne Dicke anbringen könnte, so wären diese Verluste gar nicht vorhanden. Aber die Wand muss nothwendig eine gewisse Dicke haben, damit sie dem Drucke, welchen sie zu erleiden hat, widerstehen kann; die Oeffnung, welche man darin anbringt, befindet sich also unter denselben Bedingungen wie eine Oeffnung in dünner Wand, welche mit einem Ansatzröhrchen versehen ist. Um daher die Geschwindigkeitsverluste, welche aus dem Durchgang der Flüssigkeit durch diese Oeffnung entspringen, möglichst zu vermeiden, rundet man die Ränder der Oeffnung gegen das Innere des Gefässes hin ab (Fig. 415), am besten in der Form des contrahirten Strahls. Auf diese Art ändern die Flüssigkeitsfäden nur allmälig ihre Richtung und treten daher aus der Oeffnung sehr nahezu mit der ganzen Geschwindigkeit, welche durch die Höhe der freien Oberfläche über der Oeffnung bestimmt wird.

§. 307. **Ausfluss einer Flüssigkeit durch eine grössere Oeffnung in einer Seitenwand.** — Wir haben bisher vorausgesetzt, dass die Oeffnung, durch welche der Ausfluss stattfindet, gegen den von der Flüssigkeit bespülten Theil der Wand, in welcher sie angebracht ist, nur klein sei und in einer, im Verhältniss zu ihrer Grösse beträchtlichen Entfernung unter dem Spiegel im Gefäss liege, im Falle sie eine Seitenwand durchdringt. Unter diesen Voraussetzungen konnten wir unbedenklich annehmen, dass die sämmtlichen Flüssigkeitsmoleküle, welche zu gleicher Zeit durch die Oeffnung fliessen, einerlei Geschwindigkeit besitzen. Wenn aber die Oeffnung eine beträchtliche Grösse bekommt, wie diess in den Anwendungen bei den Schützen in Mühlgerinnen, bei Schleusen etc. so häufig der Fall ist, und es ist diese Oeffnung in einer vertikalen oder schiefen Seitenwand angebracht, so sind die Druckhöhen, welche verschieden hoch gelegenen Stellen der Oeffnung entsprechen, nicht gleichgross. Die Folge davon ist, dass die Moleküle an diesen verschiedenen Stellen mit ungleicher Geschwindigkeit durch die Oeffnung strömen, die unteren schneller, die oberen langsamer. Man versteht nichtsdestoweniger auch hier wieder unter der theoretischen Ausflussmenge die Zahl, welche man erhält, wenn man den Querschnitt der Oeffnung mit der aus der Formel $v = \sqrt{2gh}$ folgenden Geschwindigkeit multiplicirt, unter h den vertikalen Abstand des Mittelpunkts der Oeffnung unter der freien Oberfläche im Gefäss verstanden. Dabei setzen wir stillschweigend voraus, dass die Oeffnung einen Mittelpunkt habe, und diess ist in der Praxis, wo man fast ausschliesslich rechteckige Oeffnungen anwendet, in der That beinahe immer der Fall. Die so erhaltene theoretische Ausflussmenge muss aber wieder durch einen Coëfficienten, den sogenannten Ausfluss-Coëfficienten, multiplicirt werden, um die wirkliche Ausflussmenge zu erhalten. Die Grösse dieses Coëfficienten hängt aber wesentlich von den Umständen ab, unter denen der Ausfluss stattfindet.


Fig. 415.

Wenn die oberste Kante der Oeffnung noch unter dem Spiegel der Flüssigkeit im Gefäss liegt, und wenn diese Oeffnung wenigstens $1\frac{1}{2}$ bis 2mal so weit, als ihre kleinste Dimension beträgt, vom Boden und den Seitenwänden des Reservoirs entfernt ist, so strömen die

Flüssigkeitsfäden von allen Seiten gegen sie, und die Zusammenziehung des Strahls findet von allen Seiten her statt. Man sagt dann, die Contraction sei vollständig. Die genauesten Versuche über den Ausfluss des Wassers dieser Art durch grössere rechteckige Seitenmündungen sind in Metz von Poncelet und Lesbros angestellt worden. Die Breiten dieser Mündungen waren 2 und in einigen Fällen 6 Decimeter, die Höhen derselben aber sehr verschieden, von 1 Centimeter bis 2 Decimeter. Um eine vollständige Contraction herbeizuführen wurden zur Herstellung dieser Mündungen dünne, blos 4 Millimeter starke Messingbleche verwendet. Die folgenden beiden Tabellen enthalten die Resultate, welche aus diesen Versuchen für den Ausfluss-Coëfficienten erhalten wurden. Dabei ist zu bemerken, dass sich bei solchen grösseren Oeffnungen der Flüssigkeitsspiegel unmittelbar über der Oeffnung stets etwas senkt. Wenn man daher die Druckhöhe an der vertikalen Gefässwand selbst, in welcher die Ausflussöffnung angebracht ist, misst, so erhält man sie etwas kleiner als an einer weiter von dieser Wand entfernten Stelle, wo das Wasser vollkommen ruhig steht. Die erste der beiden folgenden Tabellen gibt den Ausfluss-Coëfficienten für den Fall, dass die angegebenen Wasserstände an einer Stelle, wo das Wasser ruhig steht, gemessen werden; in der zweiten Tabelle wird vorausgesetzt, dass man die Wasserstände unmittelbar über der Oeffnung nimmt.

Abstand des Wasserspiegels von der oberen Kante der Mündung.	Ausfluss-Coëfficienten							
	für die Breite der Oeffnung = $0^{m},2$ und für die Höhen derselben von						für die Breite der Oeffnung = $0^{m},6$ und die Höhen:	
	$0^{m},20$	$0^{m},10$	$0^{m},05$	$0^{m},03$	$0^{m},02$	$0^{m},01$	$0^{m},20$	$0^{m},02$
$0^{m},02$	0,572	0,596	0,615	0,634	0,659	0,694	—	0,643
0,04	0,582	0,603	0,623	0,640	0,658	0,683	0,595	0,642
0,08	0,589	0,610	0,629	0,638	0,656	0,670	0,601	0,640
0,15	0,595	0,613	0,630	0,635	0,651	0,659	0,604	0,637
0,25	0,599	0,616	0,630	0,632	0,646	0,653	0,606	0,634
0,50	0,603	0,617	0,628	0,630	0,640	0,644	0,607	0,630
1,00	0,605	0,615	0,626	0,628	0,633	0,632	0,605	0,626
1,50	0,602	0,611	0,620	0,620	0,619	0,615	0,602	0,623
2,00	0,601	0,607	0,613	0,612	0,612	0,611	0,602	0,620
3,00	0,601	0,603	0,606	0,608	0,610	0,609	0,601	0,615

Abstand des Wasserspiegels von der oberen Kante der Mündung.	Ausfluss-Coëfficienten für die Breite der Oeffnung = $0^m,2$ und die Höhe von $0^m,20$	$0^m,10$	$0^m,05$	$0^m,03$	$0^m,02$	$0^m,01$	für die Breite der Oeffnung von $0^m.6$ und die Höhe von $0^m,20$
$0^m,02$	0,594	0,614	0,638	0,668	0,697	0,729	0,591
0,04	0,593	0,612	0,636	0,654	0,678	0,695	0,594
0,08	0,594	0,613	0,635	0,643	0,662	0,675	0,598
0,15	0,597	0,615	0,632	0,636	0,652	0,660	0,602
0,25	0,600	0,616	0,630	0,632	0,646	0,653	0,604
0,50	0,603	0,617	0,628	0,630	0,640	0,645	0,607
1,00	0,605	0,615	0,626	0,628	0,633	0,632	0,606
1,50	0,602	0,611	0,620	0,620	0,619	0,615	0,603
2,00	0,601	0,607	0,614	0,612	0,612	0,611	0,602
3,00	0,601	0,603	0,606	0,608	0,610	0,609	0,601

Beispiel: Wie gross ist die Ausflussmenge einer 2 Decimeter breiten und 5 Centimeter hohen rechteckigen Oeffnung, deren oberste Kante 5 Decimeter unter der Oberfläche des Wassers im Gefäss liegt, diese Höhe an einer von der Wand entfernten Stelle, wo das Wasser ruhig steht, gemessen? — Die Entfernung des Mittelpunktes der Oeffnung vom Spiegel ist hier $0^m,525$ und folglich die theoretische Ausflussmenge $0,2 \times 0,05. \sqrt{2g. 0,525} = 0,0321$ Cubikmeter. Die erste Tabelle ergibt für den Ausflusscoëfficienten 0,628; folglich ist die wirkliche Ausflussmenge $0,628 \times 0,0321 = 0,0202$ Cubikmeter.

Die obigen Tabellen zeigen, dass bei derselben Höhe der Oeffnung der Ausflusscoëfficient nur wenig von der Breite derselben abhängt. Für andere Breiten als die in den Tabellen angegebenen kann man daher, ohne grossen Fehler, ebenfalls noch die in diesen Tafeln aufgeführten Ausflusscoëfficienten benützen. Für eine grössere Höhe der Oeffnung als $0^m,20$ nimmt man den für diese Höhe angegebenen Coëfficienten.

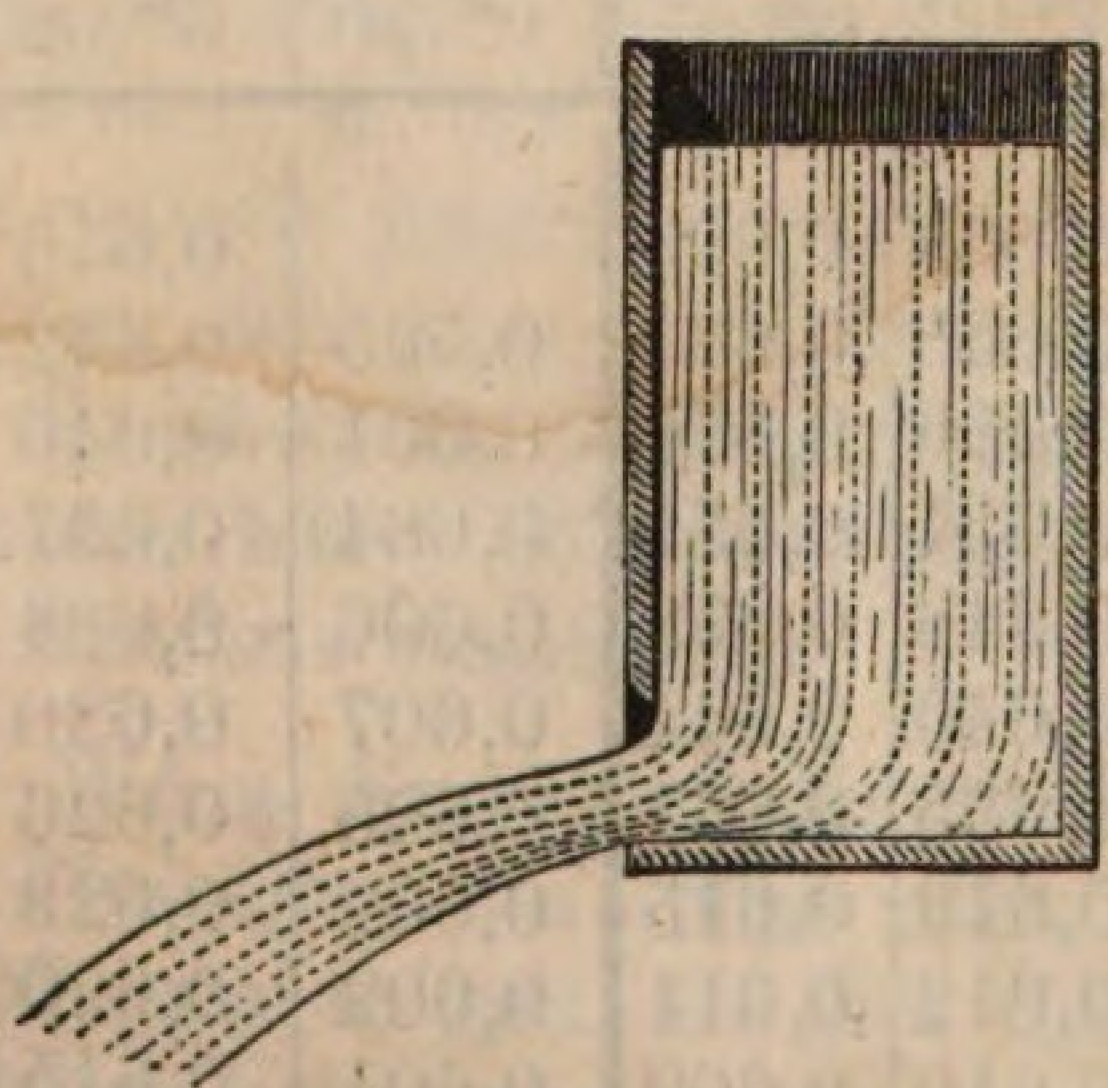


Fig. 416.

§. 308. Wenn eine der Seiten der als rechteckig vorausgesetzten Oeff-

nung in einer Seitenwand oder in der Bodenfläche des Reservoirs selbst liegt, sodass die Wasserfäden parallel mit dieser Wand austreten müssen (Fig. 416), so ist die Contraction für diese Seite des Strahls vermindert oder ganz aufgehoben und findet nur noch an den drei anderen Seiten statt. Man nennt dann die Zusammenziehung eine unvollständige. Dasselbe kann zu gleicher Zeit an den andern Seiten der Fall sein. Um den Ausflusscoëfficienten für diese Fälle zu erhalten, entnehme man den auf den vorgelegten Fall passenden aus einer der Tabellen des vorigen Paragraphen und multiplicire denselben mit

1,035, wenn die Contraction blos auf 3 Seiten stattfindet
1,072 „ „ „ „ „ 2 „ „
1,125 „ „ „ „ „ 1 „ „

Bei senkrechten Schützen, namentlich bei solchen, welche in Schleusenthoren angebracht sind, fliesst das Wasser gewöhnlich über eine nahe dem Boden angebrachte Schwelle A (Fig. 417). Für diesen Fall kann der Ausflusscoëfficient gleich 0,625 angenommen werden. Sind mehrere solche Oeffnungen, die nahe bei einander sind, zu gleicher Zeit offen, wie es bei den Thoren einer Schleusenkammer der Fall ist, so wird der Ausflusscoëfficient kleiner und gleich 0,55. Diese Verminderung ist bei grossen Schleusenöffnungen noch zu bemerken, selbst wenn sie zwei bis drei Meter von einander entfernt liegen. — Bei geneigten Schützen, wo der Boden des Behälters oder Kanals, die beiden Seiten der Schützenöffnung und theilweise die geneigten Schützen selbst die Ausflussmündung bilden, steigt der Ausflusscoëfficient auf 0,74, wenn, wie in Fig. 418, die Schütze eine schiefe Ebene bildet, deren Grundlinie AB gleich der halben Höhe BC ist, und auf 0,80, wenn AB gleich BC, wie in Fig. 419.

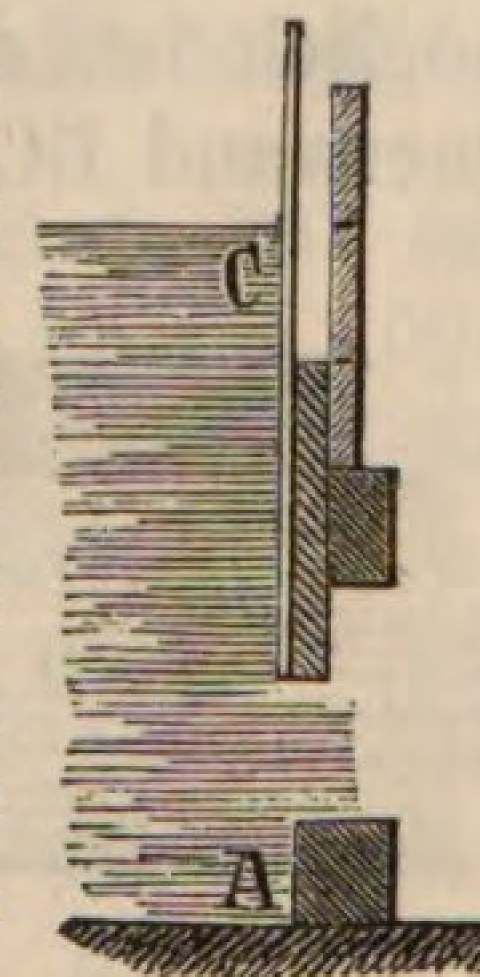


Fig. 417.

§. 309. Ausser der im vorigen Paragraphen behandelten unvollständigen kommt auch noch die sogenannte unvollkommene Contraction vor.*) Die Contraction des Wasserstrahls ist nämlich auch noch davon abhängig, ob das Wasser vor der Mündung ziemlich in Ruhe steht,

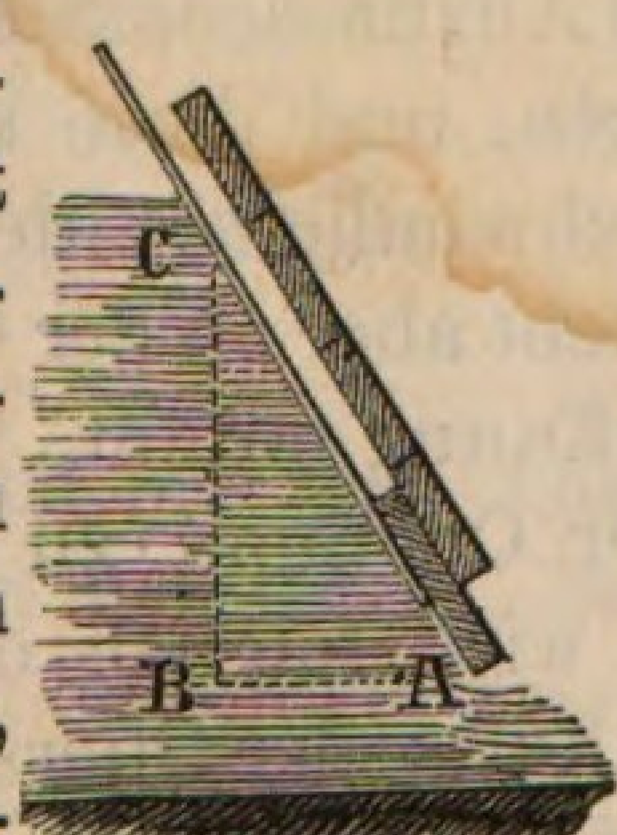


Fig. 418.

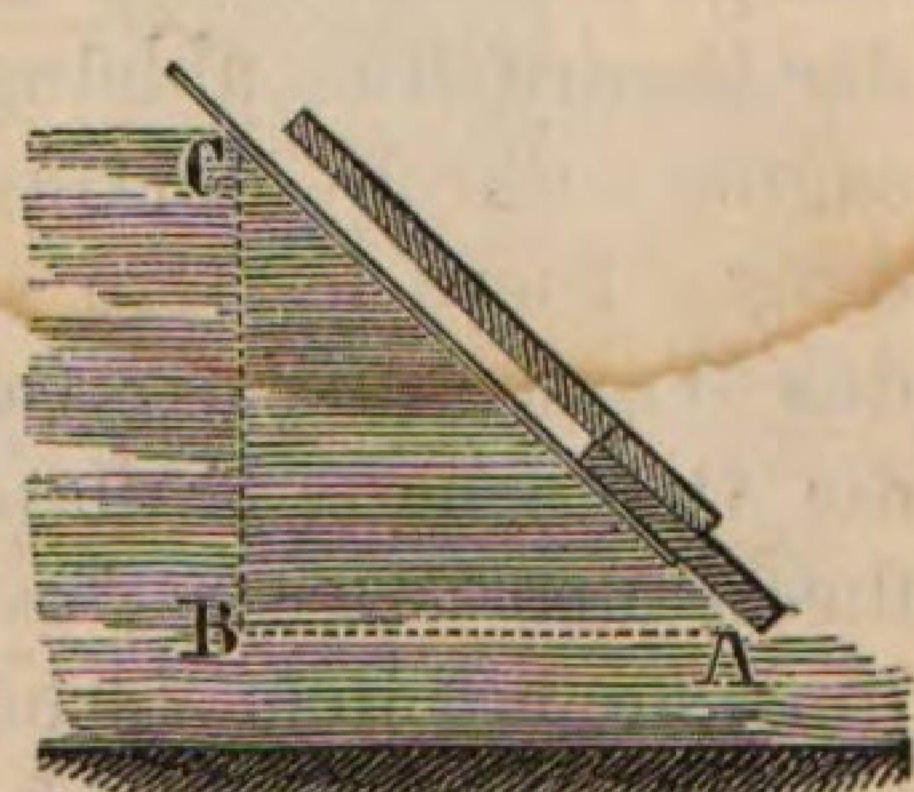


Fig. 419.

*) Weisbach, Ingenieur- und Maschinen-Mechanik I. Seite 721.

oder ob es mit einer bestimmten Geschwindigkeit vor derselben ankommt; je schneller das Wasser der Ausflussöffnung zuströmt, je weniger ist auch der Strahl zusammen gezogen, und desto grösser fällt die Ausflussmenge aus. Die oben angegebenen und untersuchten Ausfluss- und Contractionsverhältnisse beziehen sich auch nur auf den Fall, wo sich die Mündung in einer grossen Wand befindet, sodass angenommen werden kann, dass das Wasser nur mit sehr kleiner Geschwindigkeit der Ausflussöffnung zuströmt; wir müssen daher auch die Contractions- und Ausflussverhältnisse kennen lernen, wenn der Mündungsquerschnitt nicht viel kleiner ist, als der Querschnitt des zufliessenden Wassers, wenn folglich das Wasser schon mit einer beträchtlichen Geschwindigkeit an der Mündung ankommt. Dieser Fall ist es nun, in welchem, wie man sagt, die unvollkommene Contraction stattfindet. Am häufigsten kommt dieser Fall vor, wenn es darauf abgesehen ist, das in Gerinnen und Kanälen fliessende Wasser zu messen (vgl. unten §. 335), weil es hier nur selten möglich ist, das Wasser durch eine, die Ausflussöffnung enthaltende Querwand BC (Fig. 420) so hoch aufzustauen, dass die Mündung F nur ein kleiner Theil gegen den Querschnitt des zufliessenden Wasserstroms wird.

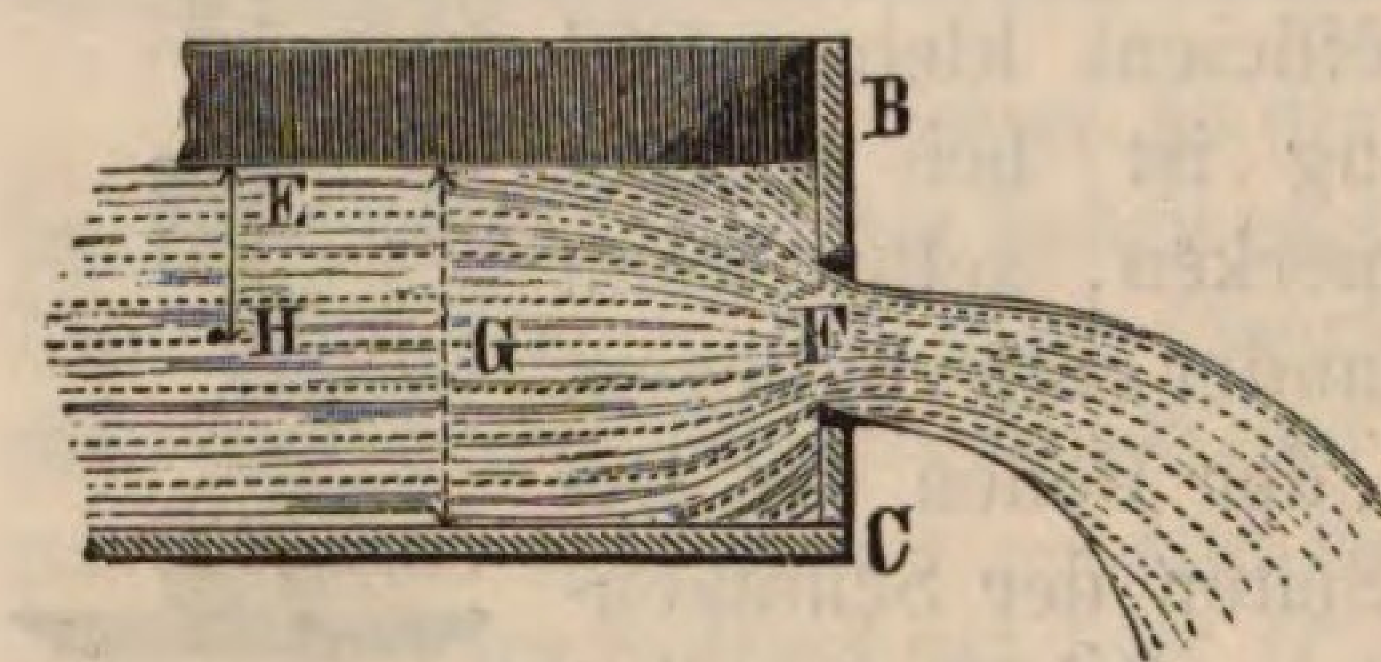


Fig. 420.

Man nennt nun auch hier wieder die theoretische Ausflussmenge die Zahl, welche man durch Multiplication des Oeffnungsquerschnitts mit der aus $\sqrt{2gh}$ folgenden Geschwindigkeit erhält, unter h wieder die Entfernung EH des Mittelpunkts der Oeffnung von dem Spiegel des zufliessenden Wassers verstanden. Diese theoretische Ausflussmenge ist mit einem Ausflusscoëfficienten zu multipliciren, um die wirkliche Ausflussmenge zu erhalten. Der Ausflusscoëfficient wird aber von der Grösse der Contraction abhängen, und diese selbst ist, wie wir oben schon sagten, durch die Geschwindigkeit des zufliessenden Wassers bedingt. Diese letztere steht aber zu der Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser aus der Oeffnung strömt, in demselben Verhältniss wie der Querschnitt F dieser Oeffnung zu dem Querschnitt G des zufliessenden Wassers; es wird folglich der Ausfluss-Coëfficient auf's Innigste mit dem Verhältniss der Querschnitte F und G zusammenhängen. Nach Weisbach wird er erhalten, wenn man dem für die gegebene Mündung passenden Ausflusscoëfficienten aus einer der Tabellen des §. 307 entnimmt und denselben mit einem Factor multiplicirt, der aus der folgenden kleinen Tabelle zu entnehmen ist.

Verhältniss des Querschn. F der Oeffn. zum Querschnitt G des zufliessend. Wassers.	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
Factor :	1,002	1,006	1,014	1,026	1,040	1,058	1,079	1,103	1,130	1,160.

Beispiel: Welche Wassermenge fliesst aus einer 2 Decimeter breiten und 2 Decimeter hohen Oeffnung, die 1,5 Decimeter über dem Boden in einer Wand angebracht ist, welche einen 5 Decimeter breiten Kanal verschliesst und das Wasser in demselben auf eine Höhe von 4 Decimeter über dem Gerinnboden aufstaut? — Die theoretische Ausflussmenge ist hier gleich $0,2 \times 0,2 . \sqrt{2g . 0,15} = 0,0686$ Cubikmeter. Das Verhältniss des Querschnitts der Ausflussöffnung zu dem des zufliessenden Wassers ist gleich $\frac{0,04}{0,2} = 0,20$. Nach der obigen Tabelle ist also der aus der ersten Tafel des §. 307 für unsern Fall folgende Ausflusscoëfficient 0,584 mit dem Factor 1,026 zu multipliciren. Man erhält dadurch als Ausflusscoëfficienten, 0,599, und daher als wirkliche Ausflussmenge 0,0411 Cubikmeter.

Wir haben bisher immer angenommen, dass der Ausfluss in die freie Luft stattfindet; in dem Falle, wo die Ausflussöffnung unter Wasser getaucht ist, wie es bei Schleusenöffnungen häufig vorkommt (Fig. 421), kann ganz dasselbe angewendet werden, was wir bisher gesagt haben; nur muss bei Berechnung der Ausflussmenge blos der Unterschied des Wasserstandes in den beiden Behältern, nämlich der Unterschied h der Höhe H des Oberwassers O und der H′ des Unterwassers U als Druckhöhe benützt werden. Diese Druckhöhe ist, wie man leicht sieht, an allen Stellen der Ausflussmündung dieselbe.

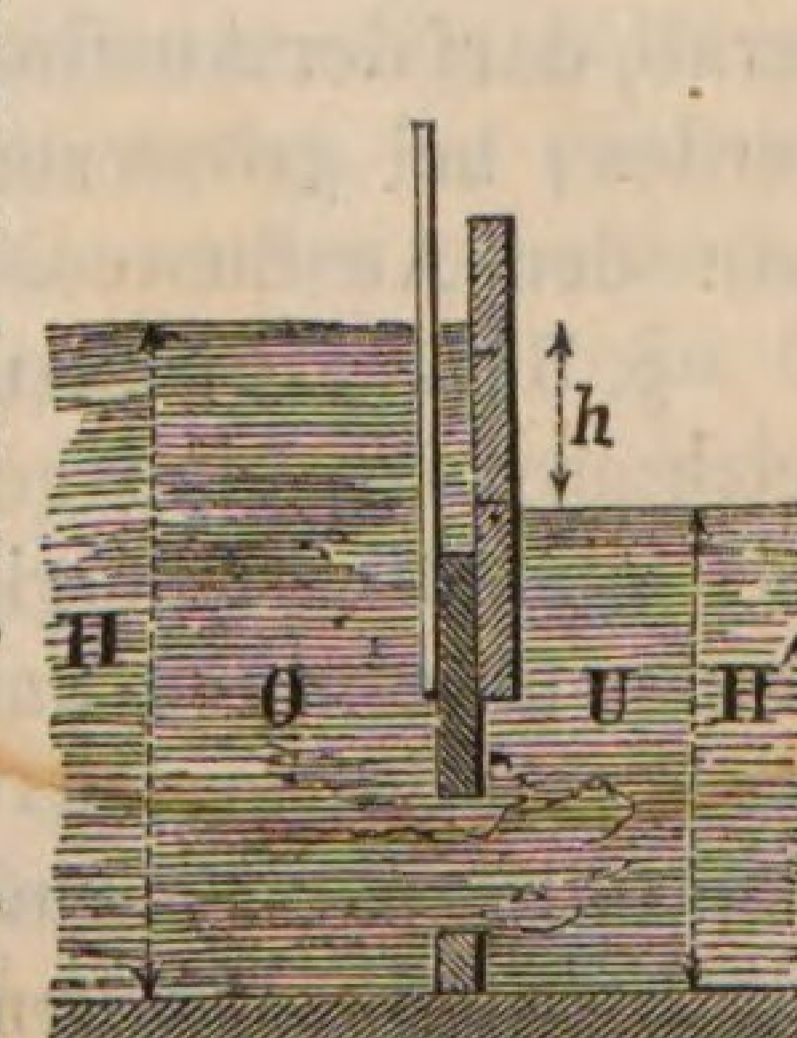


Fig 421.

§. 310. Wir haben bisher nur den Ausfluss durch solche Oeffnungen betrachtet, bei denen die oberste Kante noch unter dem Spiegel der Flüssigkeit im Reservoir gelegen ist; es kommen aber auch Fälle vor, wo das Wasser blos durch einen Einschnitt in der Wand des Reservoirs ausfliesst, d. h., wo die Oeffnung nach oben nicht begrenzt ist. Als Beispiele hiefür sind namentlich die sogenannten

Ueberfälle und Wehre anzuführen (Fig. 422), die mitten in einem fliessenden Wasser angelegt werden, sodass dasselbe gezwungen wird, über ihren Rücken wegzufliessen. Wenn man den Ausfluss des Wassers bei einem solchen Ueberfall beobachtet, so sieht man sofort, dass sich die Oberfläche des Wassers schon sehr merkbar senkt, bevor es noch die Vertikalebene erreicht, welche durch die untere Kante der Oeffnung quer durch den Rücken des Wehres gelegt werden kann. Die Dicke *ab* der ausfliessenden Wasserschichte ist nicht grösser als 0,72 von der Höhe *ac* des Wasserniveaus über der untern Kante der Oeffnung, diese Höhe in so grosser Entfernung von der Oeffnung genommen, dass die Senkung nicht mehr merklich ist. Aus den zahlreichen Versuchen von Poncelet und Lesbros folgt, dass man, um die Wassermenge, welche in einer Secunde über einen Ueberfall fliesst, zu finden, in den in der Praxis gewöhnlich vorkommenden Fällen in folgender Weise verfahren kann. Man berechnet die Fläche des Rechtecks, welches die Breite des Ueberfalls zur Grundlinie und den Niveauunterschied *ac* zur Höhe hat; diese Fläche multiplicirt man mit der Geschwindigkeit, welche der Höhe *ac* (§. 98) entspricht, und ausserdem noch mit dem Coëfficienten 0,405, so ist die erhaltene Zahl die gesuchte Wassermenge. Bei sehr kleinen Druckhöhen *ac*, bis zu 1 Centimeter herab, darf der Ausflusscoëfficient etwas grösser, bis zu 0,424 gemacht werden; bei grösseren Höhen dagegen, bis zu 22 Centimeter, muss man den Ausflusscoëfficienten kleiner, bis zu 0,385 nehmen.

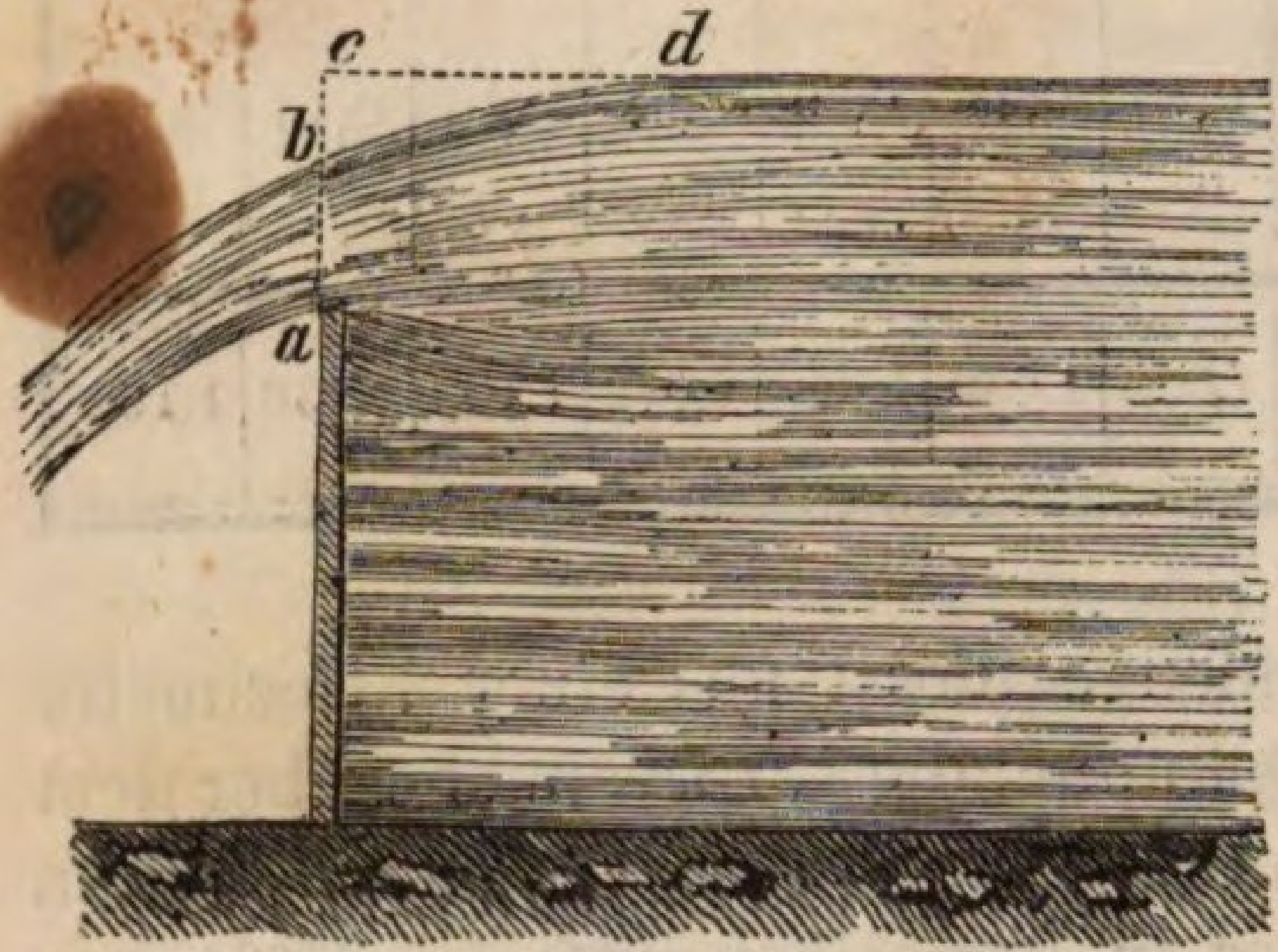


Fig. 422.

§. 311. **Der Saugheber.** — Mit dem Namen Saugheber bezeichnet man eine gebogene Röhre ABCD (Fig. 423), mittelst welcher man die Flüssigkeit aus einem Gefäss M in ein anderes tiefer liegendes überführen kann, ohne in einer von der Flüssigkeit bespülten Wand des ersten Gefässes eine Oeffnung anbringen zu müssen. Man füllt zuerst diese Röhre vollständig mit Flüssigkeit, was meistens durch Saugen an dem Ende D geschieht, und gibt ihr dann die Stellung, wie sie die Figur anzeigt. Man sieht dann die Flüssigkeit aus dem Ende D des Hebers ohne Unterbrechung ausfliessen; das Gefäss M entleert sich mehr und mehr und der Ausfluss hört nicht eher auf, als bis sich die Flüssigkeit im Gefäss M unter das Ende A des Hebers gesenkt hat. Ausserdem ist es für die Fortdauer des Ausflusses

nothwendig, dass das Ende D stets unter der Oberfläche der Flüssigkeit in M bleibt.

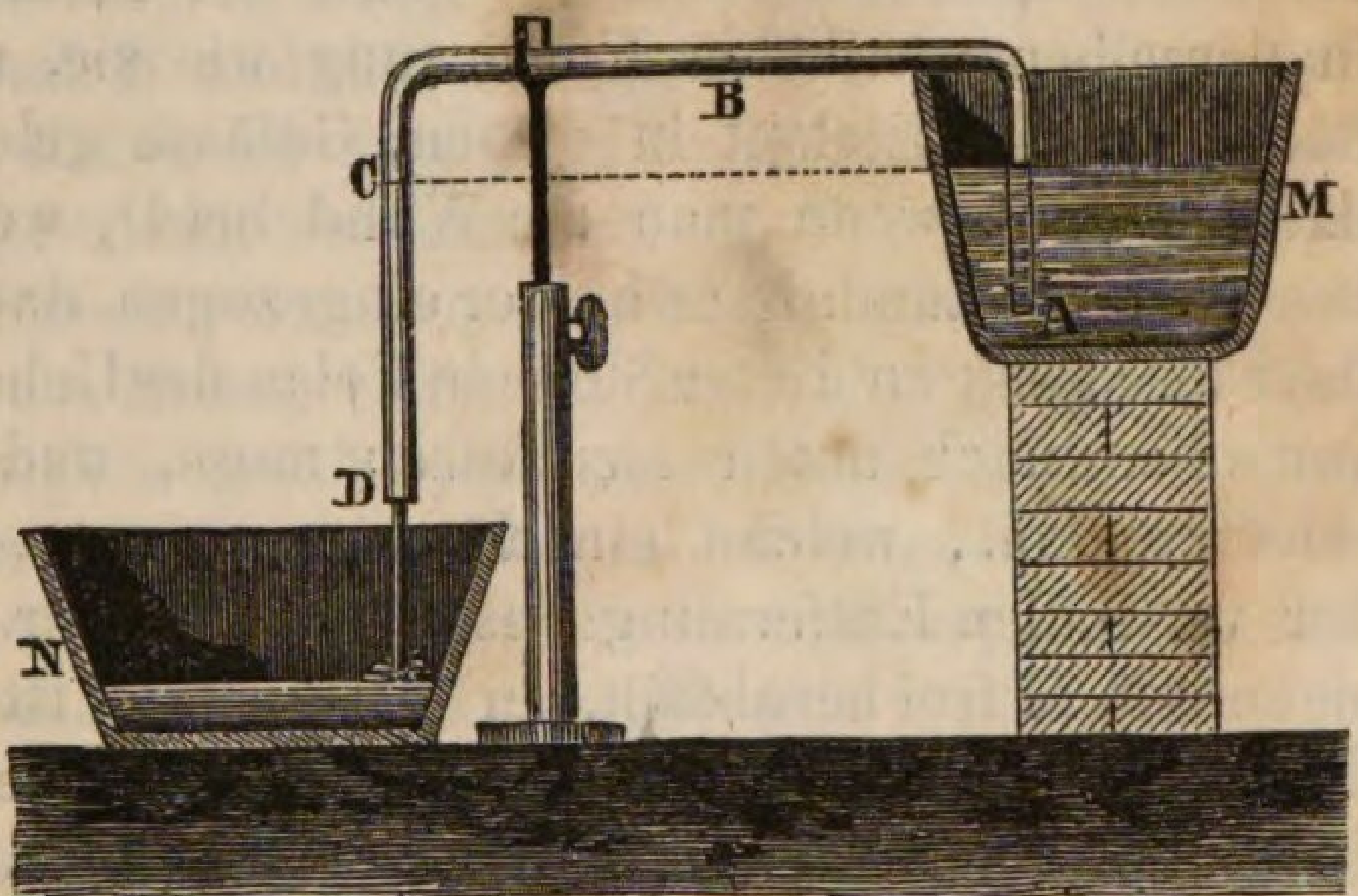


Fig. 423.

Um uns über die Wirkungsweise des Hebers Aufschluss zu verschaffen, denken wir uns an dem Ende D desselben eine feine Wand eingezogen, die diese Oeffnung verschliesst, und suchen uns die Drückungen zu verschaffen, welche diese Wand auf ihren beiden Seiten zu erleiden hat. Auf die freie Oberfläche der Flüssigkeit im Gefäss M übt die atmosphärische Luft ihren Druck aus. Denselben Druck hat folglich die Flüssigkeit im Innern des in das Gefäss M tauchenden Schenkels des Hebers an der Stelle zu erleiden, die in gleicher Höhe mit der Oberfläche der Flüssigkeit in diesem Gefäss liegt. Wenn man sich von dieser Stelle aus in dem Heber erhebt, bis in den obersten Theil B desselben, so findet man, dass der Druck immer schwächer und schwächer wird, und zwar genau um die Grössen, um welche man sich erhebt; der Druck in B z. B. ist gleich dem Drucke der atmosphärischen Luft, vermindert um das Gewicht einer Flüssigkeitssäule, welche als Basis die Flächeneinheit und als Höhe den vertikalen Abstand des Punktes B über der freien Oberfläche der Flüssigkeit M hat. Wenn man hierauf in dem Heber weiter vorwärts geht und längs seines zweiten Schenkels wieder abwärts steigt, so wird man finden, dass die Drückungen in der Flüssigkeit wieder grösser und grösser werden, und im Punkte C angekommen, der im Niveau der freien Oberfläche der Flüssigkeit im Gefässe M gelegen ist, erhält man wieder einen Druck gleich dem der atmosphärischen Luft. Wenn man noch weiter abwärts geht, so nehmen die Drückungen fort und fort zu, und es ist leicht einzusehen, dass die Drückung in D, welche die dort eingezogene freie Wand auf ihrer oberen Seite zu erleiden hat, gleich ist dem Drucke der atmosphärischen Luft, vermehrt um das Gewicht einer Flüssigkeitssäule, welche zur Basis die Flächeneinheit und zur Höhe den vertikalen Abstand des Punktes D unter dem Punkte C oder, was dasselbe ist, unter der freien Oberfläche der Flüssigkeit im Gefäss M hat. Die untere Seite der Wand bei D hat blos den Druck der atmosphärischen Luft zu ertragen; diese Wand

ist also von oben nach unten stärker gedrückt als von unten nach oben und befindet sich offenbar ganz unter denselben Umständen, als wenn sie einen Theil der Wand des Gefässes M bildete, welcher in derselben vertikalen Entfernung wie sie, unter der freien Oberfläche der Flüssigkeit in diesem Gefässe gelegen wäre. Man sieht daraus, dass, wenn man die Wand bei D, welche wir uns blos des besseren Verständnisses halber eingezogen dachten, wieder entfernt, die Flüssigkeit an dieser Stelle in Folge des Ueberschusses des Druckes von oben nach unten ausfliessen muss, und zwar mit einer Geschwindigkeit, welche ein Körper gewinnt, der eine Höhe gleich der vertikalen Entfernung des Endes D unter dem Spiegel der Flüssigkeit in M frei herabfällt. In Wirklichkeit ist die Ausflussgeschwindigkeit zwar kleiner; aber diess ist nur eine Folge der plötzlichen Richtungsänderungen, welche die Flüssigkeitssäulen, indem sie bei dem Ende D des Hebers in denselben eintreten, erfahren, so wie auch der Reibung der Flüssigkeit an den inneren Wänden des Hebers (vergl. unten §. 318).

Damit der Heber die im Vorhergehenden beschriebene Wirkung zeigt, ist es nothwendig erforderlich, dass er sich in der atmosphärischen Luft befindet. Ohne den Druck, welchen die atmosphärische Luft auf die Oberfläche der Flüssigkeit in M ausübt, steigt diese Flüssigkeit nicht von A nach B. Im luftleeren Raum würde sich die Flüssigkeit, wenn sie auch anfangs die ganze Länge des Hebers ausfüllen würde, an dem höchsten Punkte der Röhre in zwei Theile theilen, von denen der eine in dem linken, der andere in dem rechten Schenkel herabfliessen würde. Auf dieselbe Weise sieht man ein, dass der Heber, selbst in dem Falle, wo er sich in der atmosphärischen Luft befindet, nicht in Wirksamkeit treten kann, wenn seine Dimensionen im vertikalen Sinne zu gross werden; denn man weiss, dass eine Flüssigkeit durch den Druck der atmosphärischen Luft nur auf eine gewisse Höhe, die nicht grösser als die Höhe der Säule von derselben Flüssigkeit ist, deren Gewicht dem Drucke der atmosphärischen Luft das Gleichgewicht zu halten vermag, gehoben werden kann (§. 270).

Damit der Heber bequemer angesaugt werden kann, bringt man gewöhnlich eine Seitenröhre an ihm an, welche nahe dem Ende D in ihn einmündet und dann zur Seite des Schenkels CD in die Höhe steigt. Wenn der Heber, ohne vorher angefüllt worden zu sein, in die Stellung gebracht worden ist, welche er während des Durchflusses der Flüssigkeit einnehmen muss, so schliesst man das Ende D mittelst des Fingers oder eines Pfropfens und saugt hierauf an dem oberen Ende der Seitenröhre, von welcher wir oben gespro-

chen haben. Dieses Saugen bringt eine Verminderung des Druckes der Luft im Innern des Hebers, die von der äussern Luft vollständig abgesperrt ist, hervor; in Folge dessen steigt die Flüssigkeit des Gefässes von A nach B und fällt von B nach D von selbst herab. Man sagt dann, der Heber ist angesaugt, und es reicht hin, den Finger oder den Pfropfen, mit welchem man das Ende D verschlossen hielt, wieder zu entfernen, um den Ausfluss beginnen zu lassen. — Man bedient sich des Hebers meistens, um Fässer, die mit Wein oder sonst einer Flüssigkeit gefüllt sind, zu entleeren, ohne in einem der Böden der Fässer ein Loch anbringen zu müssen; in diesem Falle ist der Heber gewöhnlich von Weissblech und so gemacht, dass er leicht in das Spundloch des Fasses eingebracht werden kann, sodass noch rings um ihn der Luft der freie Eintritt in das Fass, welches sie in dem Maasse erfüllen muss, als der Wein aus demselben ausfliesst, gestattet ist.

§. 312. **Constanter Ausfluss.** — Damit die Geschwindigkeit, mit welcher eine Flüssigkeit aus einer Oeffnung strömt, fortwährend die nämliche bleibt, ist es nothwendig, dass der Druck in dieser Oeffnung keine Aenderung erleidet, d. h. dass die freie Oberfläche der Flüssigkeit in dem Gefässe, aus welchem sie fliesst, stets in gleicher Höhe über der Oeffnung bleibt. Wir haben schon in §. 272 ein Mittel kennen gelernt, ein solches constantes Niveau zu erhalten. Ein anderes Mittel, dessen man sich namentlich bedient, wenn man es mit grösseren Flüssigkeitsmengen zu thun hat, besteht darin, dass man in das Reservoir, aus dem der Ausfluss stattfinden soll, fortwährend einen Flüssigkeitsstrom leitet und in einer der Seitenwände dieses Reservoirs einen Einschnitt anbringt, dessen untere Kante dem constanten Niveau entspricht, welches die Flüssigkeit behalten soll. Wenn die Quelle, durch welche das Reservoir gespeist wird, mehr Flüssigkeit liefert, als sich durch die Oeffnung ergiessen kann, so fliesst der Ueberschuss durch diesen Einschnitt aus, und das Niveau wird folglich nicht geändert. Dieses letztere Mittel wird häufig im Grossen angewendet, um die Ausflussgeschwindigkeit des Wassers zu reguliren, welches dazu bestimmt ist, ein Wasserrad zu treiben.

§. 313. **Intermittirender Ausfluss.** — Der in Fig. 424 abgebildete intermittirende Brunnen ist ein Apparat, durch welchen ein intermittirender Ausfluss hervorgebracht wird. Ein Gefäss A enthält Wasser und endigt sich unten in vier Oeffnungen B, B, durch welche dieses Wasser ausfliessen kann. Dieses Gefäss steht an seinem oberen Theil nicht mit der atmosphärischen Luft in Verbindung; aber es ist unten von einer vertikalen Röhre CD durchdrun-

gen, die an beiden Enden offen ist; durch diese Röhre kann das Innere des Gefässes A mit der atmosphärischen Luft communiciren. Diese Communication gestattet der atmosphärischen Luft ihren Druck frei auf die Oberfläche des Wassers im Gefässe A auszuüben; dieses fliesst folglich bei den Oeffnungen B,B aus und fällt in die Schale E herab. In dieser Schale befindet sich ein Loch O, durch welches das Wasser in eine zweite Schale herabfliessen kann, die unter der ersten angebracht ist. Aber die Oeffnung O lässt nicht so viel Wasser austreten als in der Schale E ankommt, und in Folge dessen hebt sich das Niveau der Flüssigkeit in dieser Schale und erreicht bald eine solche Höhe, dass es das untere Ende D der Röhre, durch welche hindurch die atmosphärische Luft ihren Druck auf das Wasser im Gefäss A ausübt, verschliesst. Von da an findet der Ausfluss durch die Oeffnungen B,B nicht mehr unter denselben Bedingungen wie vorhin statt. Der Druck, welcher durch die Luft über der Flüssigkeit in A ausgeübt wird, vermindert sich nach und nach, in dem Maasse, als das Wasser fortfährt, durch die Oeffnungen B,B auszufliessen, da diese Luft, nun von der Atmosphäre isolirt, einen immer grössern und grössern Raum einnimmt. Die Ausflussgeschwindigkeit durch die Oeffnungen B,B muss sich also allmälig vermindern, und der Ausfluss wird endlich ganz aufhören, wenn der Ueberschuss des Druckes der äussern atmosphärischen Luft über den Druck, welchen das Wasser im Gefäss A seitens der in demselben enthaltenen Luft zu erleiden hat, im Stande ist, den Wassersäulen über den Oeffnungen B,B das Gleichgewicht zu halten. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Oeffnungen B,B klein genug sind, sodass das Wasser nicht in einem Theil ihrer Breite ausfliesst, während in dem andern die atmosphärische Luft einströmt. Aber das Wasser, welches sich

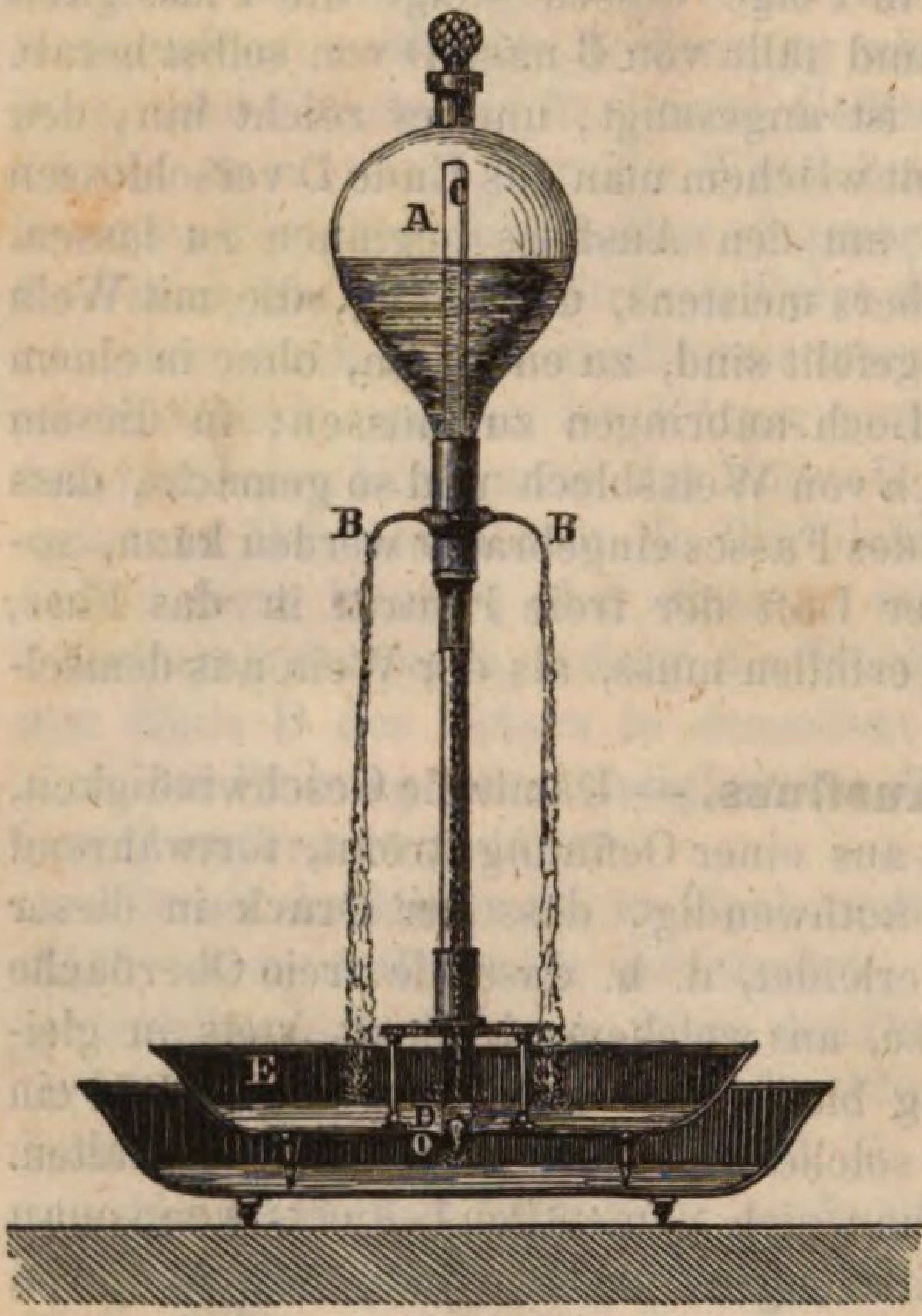


Fig. 424.

in der Schale E angesammelt hat, strömt fortwährend durch die Oeffnung O aus; und da es nun nicht mehr erneuert wird, so sinkt sein Niveau mehr und mehr, und dadurch wird das untere Ende D der vertikalen Röhre CD bald wieder geöffnet. Dann communicirt die atmosphärische Luft von Neuem mit dem Innern des Gefässes A, der Ausfluss durch die Oeffnungen B,B beginnt also wieder, und der Spiegel des Wassers in der Schale D hebt sich auf's Neue. Dadurch aber wird die Verbindung des Innern des Gefässes A mit der atmosphärischen Luft bald wieder unterbrochen, der Ausfluss durch die Oeffnungen B,B muss folglich wieder aufhören u. s. f. Auf diese Weise findet also ein fortwährend immer wieder unterbrochener Ausfluss statt, so lange das Gefäss A noch Wasser enthält.

§. 314. Es gibt an verschiedenen Orten auf der Erde natürliche Quellen, welche nur mit stetig wiederkehrenden Unterbrechungen Wasser liefern. Man nennt solche Quellen intermittirende. Sehen wir, wie diese Erscheinung erklärt werden kann.

Denken wir uns, man habe in einem Gefäss (Fig. 425) eine heberförmig gebogene Röhre so angebracht, dass ihr einer Schenkel den Boden dieses Gefässes durchdringt. Wenn man in das Gefäss Wasser giesst, so bleibt diess so lange in dem Gefässe, als seine Oberfläche noch nicht den höchsten Theil C des Hebers erreicht hat. Da die atmosphärische Luft den unteren Theil des grösseren Schenkels des Hebers frei durchdringen kann, so tritt das Wasser in den kleineren Schenkel ein und stellt sich in demselben ebenso hoch wie aussen, im Gefäss. Aber sobald sich die freie Oberfläche des Wassers im Gefäss über den höchsten Punkt C des Hebers erhebt, fliesst das Wasser, welches in das Innere desselben eingedrungen ist, auch in den grossen Schenkel des Hebers ein; der Heber ist nun angesaugt, und das Gefäss entleert sich durch denselben, bis das Niveau AB des Wassers unter das untere Ende des kleinen Schenkels des Hebers herabgesunken ist.

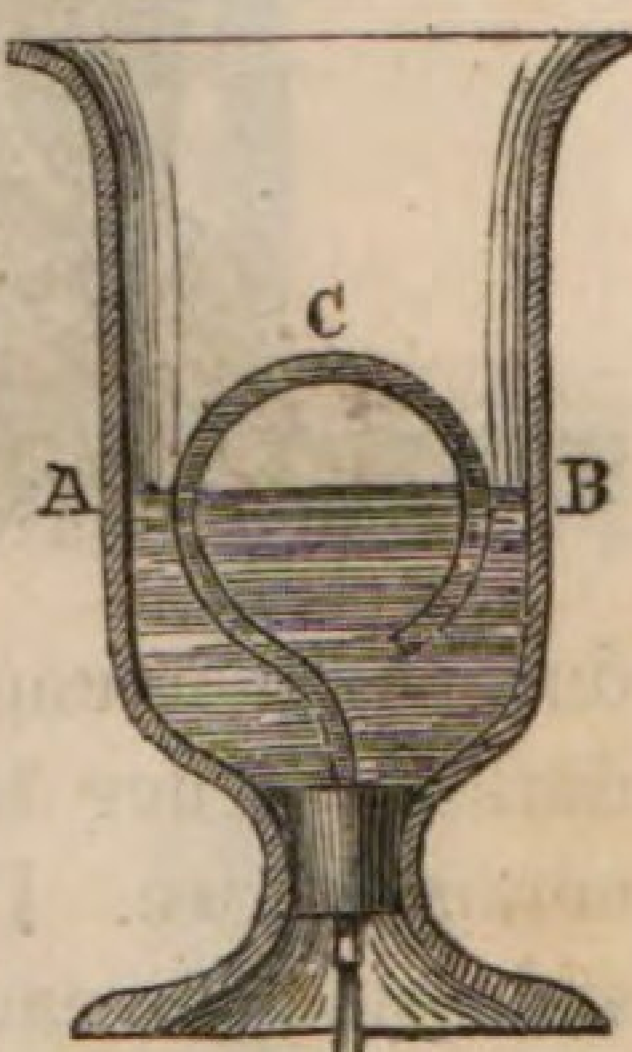


Fig. 425.

Um mit Hülfe des in Rede stehenden Apparats einen intermittirenden Ausfluss zu erhalten, darf man nur in das Gefäss einen kleinen Strom von Wasser leiten, der ohne Unterbrechung fortfliesst. Das Gefäss füllt sich mehr und mehr, die Oberfläche AB des Wassers steigt allmälig; bald ist der Heber gefüllt und das Wasser strömt nun durch denselben aus. Wenn sich auf diese Weise die Oberfläche des Wassers im Gefäss weit genug gesenkt hat, so kann der Heber nicht mehr in Thätigkeit bleiben und entleert sich von

selbst. Hierauf füllt sich das Gefäss von Neuem, der Ausfluss durch den Heber beginnt aber erst wieder, nachdem sich die Oberfläche des Wassers auf's Neue bis C erhoben hat. Es ist klar, dass, um auf diese Weise einen intermittirenden Ausfluss zu erhalten, die Wassermenge, welche durch den Heber ausströmt, grösser sein muss als die, welche in gleicher Zeit in das Gefäss einfliesst; denn ohne Dieses würde der Heber das Gefäss nicht allmälig entleeren können, sondern fortwährend angesaugt bleiben.

Die natürlichen intermittirenden Quellen können durch eine besondere Anordnung von Gängen und Höhlungen im Innern der Erde ähnlich derjenigen des Apparates, von dem wir soeben gesprochen haben, bedingt werden. Denken wir uns, dass im Innern der Erde eine Höhlung vorhanden ist (Fig. 426), welche sich allmälig mit Wasser füllt, sei es, dass dieses langsam durch das lockere Erdreich durchsickert, sei es, dass es in einem kleinen Strom durch eine enge Spalte zufliesst. Stellen wir uns ferner vor, dass diese Höhlung nach aussen durch einen engen Kanal, welcher sich anfangs erhebt, um sich darauf wieder herabzusenken, sodass er eine Art von Heber bildet, communicire. Das Wasser sammelt sich in der Höhlung an, bis sich sein Niveau in der Höhe des höchsten Punktes des letzterwähnten Kanals befindet. Bei neuem Zufluss wird sich folglich der Heber füllen und das Wasser wird sich durch ihn nach Aussen ergiessen. Wenn dadurch die Oberfläche des Wassers in der Höhlung bis unter das Ende des in dieselbe mündenden Heberschenkels herabgesunken ist, so entleert sich der Heber, und seine Wirksamkeit hört auf; die Höhlung kann sich nun von Neuem allmälig füllen, bis der Heber wieder voll geworden ist und seine Thätigkeit von Neuem beginnt u. s. f. Damit das Wasser aus dem inneren Reservoir durch den Heber ausfliessen kann, ist es nöthig, dass seine Oberfläche dem Drucke der atmosphärischen Luft ausgesetzt ist (§. 311), und dass die äussere Luft leicht in die Höhlung eindringen kann, während das Wasser ausfliesst; diese Bedingung findet sich aber leicht erfüllt; die zahlreichen Spalten und Ritzen, welche in den meisten Fällen das Innere der Erde durchziehen, und die mit der äusseren atmosphärischen Luft in Verbindung stehen, ge-

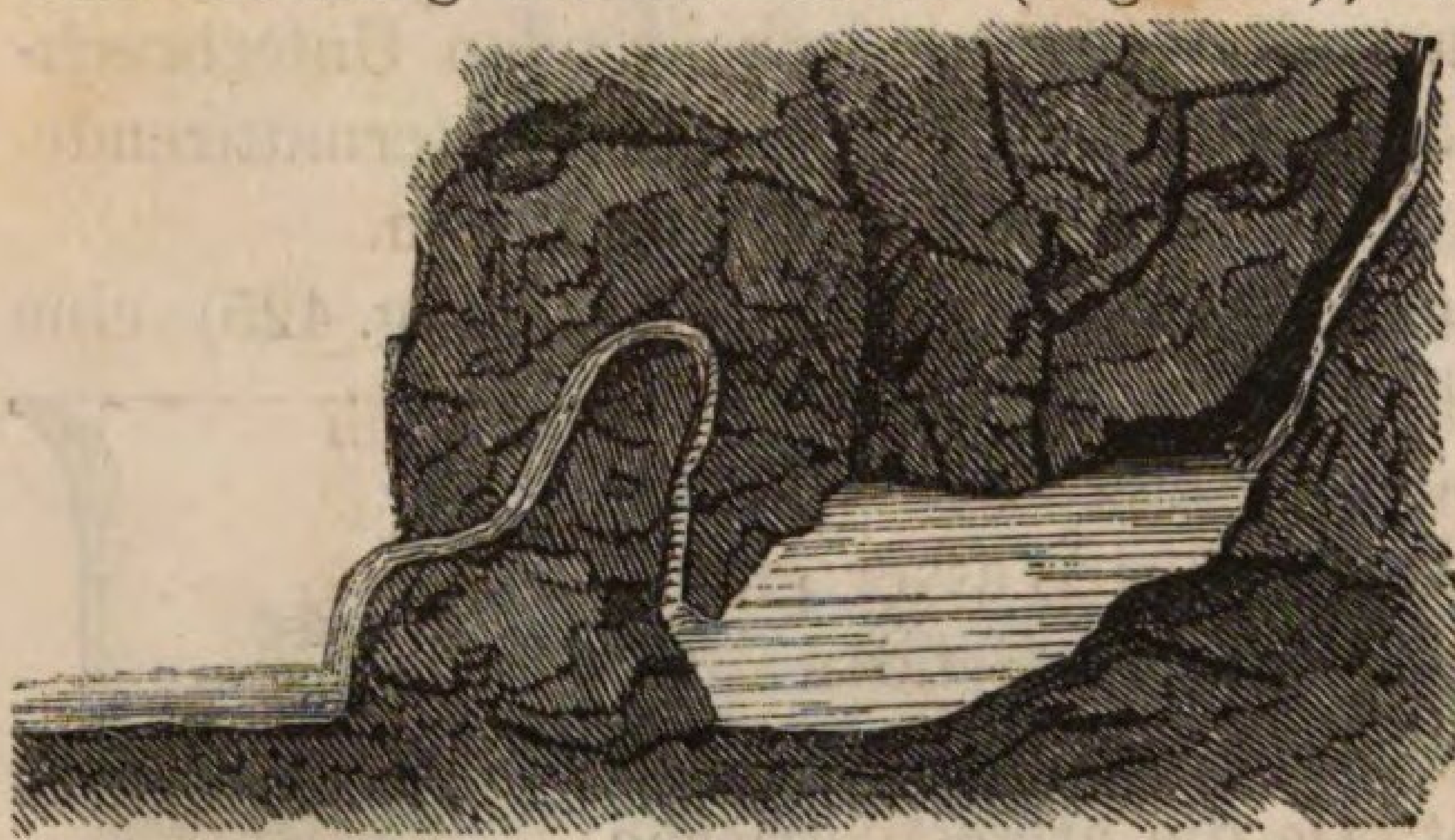


Fig. 426

statten dieser letzteren auf's Leichteste den Zugang. Die übrige Anordnung, durch welche, wie angegeben, das Zustandekommen einer intermittirenden Quelle bedingt wird, erfordert aber, wie man sieht, keineswegs das Zusammentreffen einer grossen Anzahl von besonderen Umständen; man begreift also recht wohl, dass sie sich an mehreren Orten, allein durch das Spiel des Zufalls, darbieten können.

§. 315. **Heronsbrunnen.**— Wenn man die Flüssigkeit, welche in einem Gefäss enthalten ist, durch eine Oeffnung ausströmen lässt, die so angebracht wurde, dass der Strahl vertikal in die Höhe steigt, wie in der Fig. 402 (Seite 537), so kann sich derselbe nicht höher erheben als bis zu der Horizontalebene, welche durch die freie Oberfläche der Flüssigkeit im Gefäss gelegt werden kann. Diess ist nicht mehr so in dem Fall, wo die Flüssigkeit im Gefäss in zwei Theile getheilt ist, die durch eine Gasmasse von einander getrennt sind; der Flüssigkeitsstrahl kann sich in diesem Fall auf eine viel grössere Höhe erheben, als die ist, welche durch die freie Oberfläche im Reservoir bestimmt wird. Diess ist mittelst des Apparats, der unter dem Namen des Heronsbrunnens bekannt ist, leicht einzusehen (Heron, der Erfinder dieses Apparats, lebte zu Alexandrien um das Jahr 120 v. Chr.). In der Gestalt, wie Fig. 427 diesen Apparat darstellt, besteht er einfach aus einer mehrmals gebogenen Glasröhre, deren eines Ende A sich trichterförmig erweitert, und welche ausserdem noch zwei kugelförmige Erweiter-

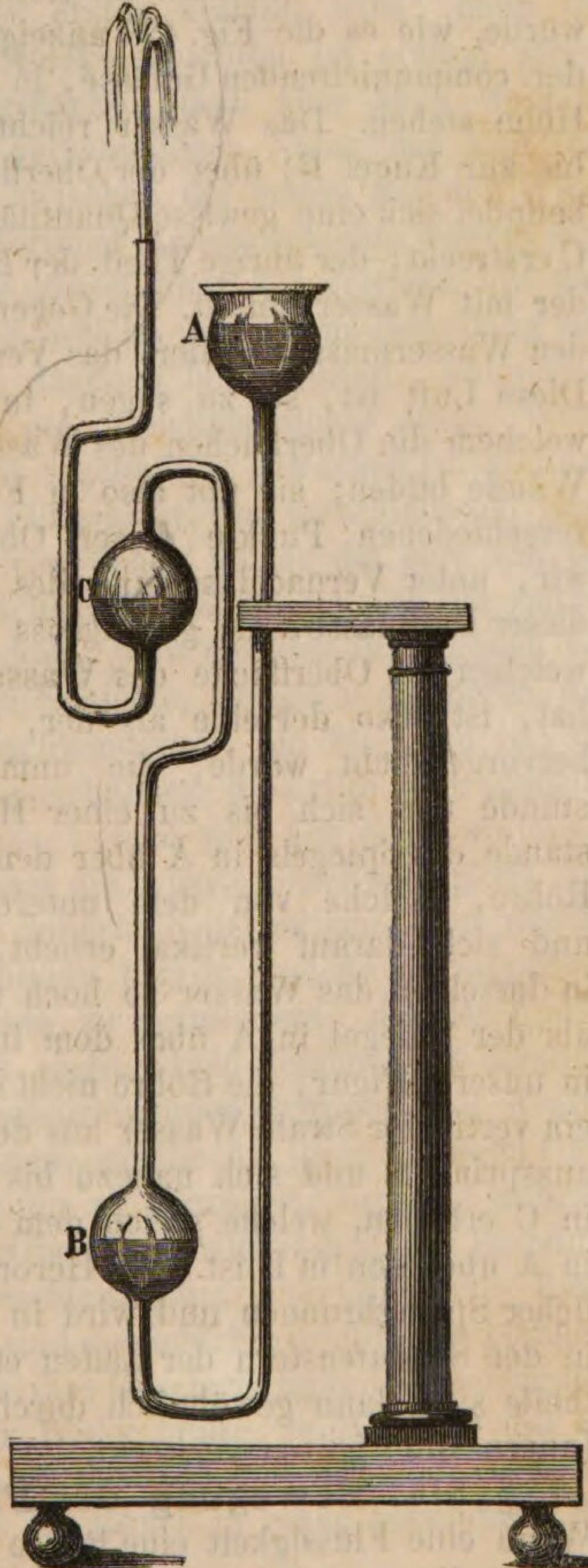


Fig. 427.

ungen B und C zeigt, welche als Reservoirs dienen. Wenn diese gebogene Röhre blos Wasser enthielte, und wenn sich diese Flüssigkeit in dem rechten Schenkel der Röhre bis in den Trichter A erheben würde, wie es die Fig. 427 anzeigt, so müsste sie, nach dem Gesetz der communicirenden Gefässe, in dem linken Schenkel in gleicher Höhe stehen. Das Wasser reicht aber von dem Trichter A blos bis zur Kugel B; über der Oberfläche des Wassers in dieser Kugel befindet sich eine gewisse Quantität Luft, die sich bis in die Kugel C erstreckt; der übrige Theil der Röhre endlich, von C an ist wieder mit Wasser gefüllt. Die Gegenwart der Luft zwischen den beiden Wassermassen ändert das Verhalten der Flüssigkeit wesentlich. Diese Luft ist, so zu sagen, in ein Gefäss eingeschlossen, von welchem die Oberflächen des Wassers in B und C einen Theil der Wände bilden; sie übt also in Folge ihrer Spannkraft gegen die verschiedenen Punkte dieser Oberflächen Drückungen aus, die wir, unter Vernachlässigung des nur äusserst geringen Gewichtes dieser Luftmasse, als gleichgross betrachten können. Der Druck, welchen die Oberfläche des Wassers in der Kugel C zu erleiden hat, ist also derselbe als der, welcher durch eine Wassersäule hervorgebracht würde, die unmittelbar über dieser Oberfläche stünde und sich bis zu einer Höhe gleich dem vertikalen Abstande des Spiegels in A über den in B erhöbe. Wenn folglich die Röhre, welche von dem unteren Theil der Kugel C ausgeht und sich darauf vertikal erhebt, lang genug wäre, so müsste in derselben das Wasser so hoch über der Oberfläche in C stehen als der Spiegel in A über dem in B; in dem Fall also, wo, wie in unserer Figur, die Röhre nicht die erforderliche Länge hat, muss ein vertikaler Strahl Wasser aus der oberen Oeffnung derselben herausspringen und sich nahezu bis in eine Höhe über dem Spiegel in C erheben, welche gleich dem vertikalen Abstande des Spiegels in A über den in B ist. Der Heronsbrunnen ist also eine Art künstlicher Springbrunnen und wird in der That als solcher in Zimmern, in den Schaufenstern der Läden etc. benützt. Seine Constructionstheile sind dann gewöhnlich durch Verzierungen verdeckt oder im Innern von Figuren versteckt.

§. 316. **Bewegung der Flüssigkeiten in Röhren.** — Wenn eine Flüssigkeit eine Röhre durchfliesst, indem sie dieselbe vollständig ausfüllt, so erfährt sie von Seite der Wände der Röhre einen Widerstand, welcher ihre Geschwindigkeit bedeutend vermindert. Um sich über die Art und Weise, auf welche dieser Widerstand hervorgebracht wird, genaue Rechenschaft zu verschaffen, muss man beachten, dass die Molekülschichte, welche zunächst an

den Wänden der Röhre dahingleitet, eine Reibung entwickelt, welche ihre Bewegung verzögert. Diese Verzögerung überträgt sich nicht in dem nämlichen Grade auf die zweite nach innen gelegene Molekülschichte, welche von jener ersten umhüllt wird; denn die Reibung zwischen den beiden Molekülschichten ist einmal schon wegen der kleineren Berührungsfläche, dann aber auch wohl in den meisten Fällen wegen der verschiedenen Natur der sich reibenden Flächen kleiner als die zwischen der ersten und den Wänden der Röhre. Die zweite ringförmige Molekülschichte bewegt sich also schneller als die erste; sie gleitet über der ersteren hin und entwickelt dadurch eine Reibung, welche ihre eigene Bewegung verzögert, die der ersten Schichte dagegen beschleunigt. Aehnliches findet bei der dritten, vierten etc. Molekülschichte statt. Wenn also der Ausfluss der Flüssigkeit regelmässig geworden ist, so kann man sich vorstellen, dass diese Flüssigkeit von verschiedenen ringförmigen Schichten gebildet ist, von denen immer die eine von der anderen umhüllt wird, und welche sich, indem sie sich der ganzen Länge der Röhre nach erstrecken, jede mit der ihr eigenen Geschwindigkeit bewegen. Die erste Schichte, welche alle anderen umhüllt, ist diejenige, deren Geschwindigkeit am kleinsten ist; die zweite Schichte bewegt sich etwas schneller, die dritte noch schneller und die innerste Schichte endlich, welche sich auf einen einfachen Flüssigkeitsfaden reducirt, besitzt die grösste Geschwindigkeit. Das Gleiten jeder dieser Schichten innerhalb derjenigen, von welcher sie umhüllt wird, ruft eine Reibung hervor, welche die Geschwindigkeit dieser umhüllten Schichte zu vermindern, die der umhüllenden dagegen zu vergrössern sucht. Jede Schichte ist demnach zweier, aus den Reibungen entspringender Gruppen von Kräften unterworfen, von denen die einen, welche an ihrer äusseren Oberfläche thätig sind, ihre Bewegung zu verzögern suchen, während die anderen, an ihrer inneren Oberfläche wirkenden, das Bestreben haben, ihre Bewegung zu beschleunigen; aber die erste dieser Gruppen überwiegt die zweite, und die Schichte erleidet also schliesslich einen Widerstand, welcher ihre Geschwindigkeit zu vermindern sucht. Eine Folge aller dieser Widerstände, welche auf die verschiedenen Schichten wirken, ist offenbar die, dass die Gesammtmenge der Flüssigkeit, welche die Röhre in einer bestimmten Zeit durchfliesst, verkleinert wird.

§. 317. Nach Dem, was wir soeben gesehen haben, sind die Geschwindigkeiten der Flüssigkeitsmoleküle, welche in demselben Augenblick durch einen und denselben Querschnitt der Röhre hindurchgehen, nicht die nämlichen; diese Geschwindigkeiten sind um

so grösser, je weiter die Moleküle von den Wänden enfernt sind, und das im Mittelpunkt des Querschnitts gelegene Molekül hat die grösste Geschwindigkeit. Die Flüssigkeitsmenge, welche in dem Zeitraume von einer Secunde diesen Querschnitt durchdringt, ist von diesen verschiedenen Geschwindigkeiten abhängig. Wenn der Durchfluss der Flüssigkeit durch die Röhre so stattfände, dass alle Flüssigkeitsmoleküle ein und die nämliche Geschwindigkeit besässen, sodass sich also die Flüssigkeit wie eine zusammenhängende Masse bewegte, so erhielte man das Volumen der Flüssigkeit, welche in einer Secunde durch einen Querschnitt der Röhre hindurchfliesst, indem man den Flächeninhalt dieses Querschnitts mit der Geschwindigkeit der Flüssigkeit multiplicirte; umgekehrt würde man die Geschwindigkeit der Flüssigkeit erhalten, wenn man die in einer Secunde durch die Röhre ausfliessende Flüssigkeitsmenge durch den Flächeninhalt des betreffenden Querschnitts der Röhre dividiren würde. Da aber in Wirklichkeit die Geschwindigkeiten der verschiedenen Flüssigkeitsmoleküle eines Querschnitts nicht gleichgross sind, so kann man das Volumen der Flüssigkeit, welche in einer Secunde durch einen Querschnitt der Röhre fliesst, nicht auf die oben angegebene Art berechnen. Wenn man daher das Flüssigkeitsvolumen, welches in einer Secunde durch einen bestimmten Querschnitt hindurchfliesst, durch den Flächeninhalt dieses Querschnitts dividirt, so gibt die erhaltene Zahl nicht die Geschwindigkeit der verschiedenen Flüssigkeitsmoleküle, schon desshalb nicht, weil diese verschiedene Geschwindigkeiten besitzen; aber diese Zahl drückt eine **mittlere** Geschwindigkeit aus, die Geschwindigkeit nämlich, welche die Flüssigkeit besitzen müsste, wenn sie sich wie ein zusammenhängendes Stück in der Röhre bewegen würde und doch die nämliche **Ausflussmenge** (§. 301) ergeben sollte. Diese mittlere Geschwindigkeit meint man, wenn man von der Geschwindigkeit der Flüssigkeit in einem betrachteten Querschnitt im Allgemeinen spricht. Wenn z. B. der Querschnitt einer Röhre 3 Quadrat-Decimeter misst, und in einer Secunde 24 Liter oder 24 Cubik-Decimeter Flüssigkeit durch denselben strömen, so sagt man, die Geschwindigkeit in diesem Querschnitt betrage 8 Decimeter in der Secunde.

Aus den vielen Versuchen, welche **Prony** an gusseisernen Röhren anstellte, fand er für die mittlere Geschwindigkeit des aus einer solchen Röhre hervorströmenden Wassers die Formel:

$$v = 26{,}79 \,.\, \sqrt{\frac{dh}{l}}$$

in welcher d den inneren Durchmesser der Röhre, l ihre Länge und

h den vertikalen Abstand des Endes der Röhre unter dem Spiegel des Wassers in dem Reservoir, aus welchem der Ausfluss geschieht, bezeichnet. Hiebei hat man der Zahl v dieselbe Längeneinheit, nämlich den Meter, beizulegen, in welcher die Grössen d, h und l ausgedrückt worden sind. Diese Formel stimmt recht gut mit den Versuchen überein, so lange d nicht kleiner als 1 Centimeter wird und die Länge l mindestens 100mal so gross als der Durchmesser d der Röhre ist.

§. 318. Wenn die Röhre, in welcher sich die Flüssigkeit bewegt, überall den nämlichen Querschnitt hat, so muss die Geschwindigkeit der Flüssigkeit in all' den Querschnitten, welche man sich längs der ganzen Röhre gemacht denken kann, die nämliche sein. Denn da die Gesammtmenge der Flüssigkeit, welche zwischen zweien dieser Querschnitte enthalten ist, keine Aenderung erleiden kann, so muss das Flüssigkeitsvolumen, welches durch den einen dieser Querschnitte in den zwischen beiden enthaltenen Raum eintritt, gleich sein dem Volumen der in derselben Zeit durch den andern Querschnitt aus diesem Raume austretenden Flüssigkeit. Diess kann aber nur der Fall sein, wenn die Geschwindigkeiten in diesen beiden gleichen Querschnitten gleichgross sind. Die verschiedenen Flüssigkeitsmoleküle sind also, jedes für sich, in gleichförmiger Bewegung begriffen, und es müssen sich folglich die Kräfte, welche an jedem von ihnen wirken, das Gleichgewicht halten. Wenn wir, anstatt ein einziges Molekül, die Flüssigkeitsmasse nehmen, welche zwischen zweien in kleiner Entfernung von einander gelegenen Querschnitten der Röhre enthalten ist, so sieht man leicht, dass auch zwischen all' den Kräften, welche an dieser Flüssigkeitsmasse angreifen, Gleichgewicht bestehen muss. Diese Kräfte sind aber: 1) In dem Falle, wo die Axe der Röhre in dem Theil, wo sich unsere Flüssigkeitsmasse befindet, gegen den Horizont geneigt ist, diejenige Componente des Gewichtes dieser Flüssigkeitsmasse, die parallel der Axe der Röhre, also parallel zur Bewegung ist; die andere, senkrecht zur Bewegung gerichtete Componente hat direkt keinen Einfluss auf diese Bewegung. 2) Die Drückungen, welche die Flüssigkeitsmasse an den beiden ebenen Flächen, durch welche sie auf beiden Seiten in Berührung mit der benachbarten Flüssigkeit steht, erleidet. Diese Drückungen sind einander entgegengesetzt und geben eine Resultante, die gleich ihrer Differenz und im Sinne der grössern von beiden gerichtet ist. Solche Drückungen finden zwar auch in den Punkten unserer Flüssigkeitsmasse statt, in welchen sie mit den Wänden der Röhre in Berührung steht; aber dort sind sie senkrecht auf die Richtung der Bewegung gerichtet und können daher

keinen direkten Einfluss auf dieselbe haben. 3) Die verschiedenen oben bereits besprochenen Reibungen, welche zwischen den verschiedenen, in einander gleitenden ringförmigen Flüssigkeitsschichten, sowie zwischen den äussersten dieser Schichten und der Wand entwickelt werden. Dieselben lassen sich offenbar sämmtlich in eine einzige Kraft, die der Richtung der Bewegung der Flüssigkeit immer entgegengesetzt ist, zusammenfassen. Die erste der eben aufgezählten drei Kräfte wirkt im Sinne der Bewegung, wenn die Flüssigkeit in den geneigten Theil der Röhre, in welchem wir sie voraussetzen, abwärts geht; sie wirkt im Gegentheil der Bewegung entgegen, wenn die Flüssigkeit aufwärts steigt; sie ist endlich gleich Null, wenn der Theil der Röhre, wo sich die betrachtete Flüssigkeit befindet, horizontal ist. Die zweite Kraft wirkt im Sinne der Bewegung oder in entgegengesetzter Richtung, je nachdem der Druck, welcher auf die hintere Fläche der Flüssigkeitsmasse ausgeübt wird, grösser oder kleiner als die auf die vordere Fläche ausgeübte Pressung ist; sie ist Null, wenn diese beiden Drückungen gleichgross sind. Weil die dritte Kraft, diejenige nämlich, welche aus den Reibungen der Flüssigkeitsschichten an einander und an den Wänden der Röhre entspringt, stets der Richtung der Bewegung entgegengesetzt ist, so folgt, dass e i n e der beiden ersten Kräfte wenigstens im Sinne der Bewegung wirken muss, denn sonst könnten sich ja diese drei Kräfte, welchen die Flüssigkeitsmasse ausgesetzt ist, niemals das Gleichgewicht halten. In jedem Fall muss die Summe der beiden Kräfte, welche in gleichem Sinne wirken, gleich der in entgegengesetzter Richtung thätigen Kraft sein.

§. 319. Wenn man den Durchfluss einer Flüssigkeit durch eine Röhre genau beobachtet, so ist es leicht, die beiden ersten der soeben besprochenen drei Kräfte, welche an einer, zwischen bestimmten Querschnitten der Röhre gelegenen Flüssigkeitsmasse angreifen, kennen zu lernen. Die erste erhält man, wenn man das Volumen der zwischen den beiden Querschnitten liegenden Flüssigkeitsmasse berechnet; aus diesem erhält man das Gewicht derselben, und wenn man dieses Gewicht in zwei Seitenkräfte zerlegt, von denen die eine parallel zur Axe der Röhre, die andere senkrecht dazu ist (§. 36), so ist die erste dieser Componenten die gesuchte Kraft. Um die zweite zu erhalten, bestimmt man den Druck, welcher auf jede der beiden ebenen Begrenzungsflächen am vorderen und hinteren Ende der betrachteten Flüssigkeitsmasse ausgeübt wird, indem man auf der Ausflussröhre an den betreffenden Stellen vertikale Glasröhrchen befestigt und die Höhen misst, bis zu welcher sich die Flüssigkeit in diesen Röhrchen in Folge des Druckes, der an den

untersten Enden derselben ausgeübt wird, erhebt. Wenn auf diese Weise die beiden ersten Kräfte gefunden sind, so erlaubt die Gleichgewichtsbedingung, welche wir am Schlusse des vorigen Paragraphen aufgestellt haben, die dritte von den drei Kräften, welche auf die in Rede stehende Flüssigkeitsmasse wirken, also den Widerstand, der durch die Reibungen hervorgerufen wird, zu bestimmen.

Zahlreiche Versuche haben gelehrt, dass für ein und dieselbe Geschwindigkeit der Flüssigkeit dieser Widerstand proportional der Grösse der Fläche ist, in welcher die in Rede stehende Flüssigkeitsmasse die Wände der Röhre berührt. Daraus folgt: 1) Wenn man sich verschiedene solche Flüssigkeitsmassen denkt, die in ein und derselben Röhre von durchweg gleichem Querschnitt verschiedene Längen annehmen, so ist der Widerstand, welchen sie erfahren, ihrer Länge proportional. 2) Flüssigkeitsmassen, die in verschieden weiten Röhren gleiche Längen einnehmen und sich mit gleicher Geschwindigkeit bewegen, erleiden Widerstände, die den Umfängen der Querschnitte der Röhren proportional sind.

Wenn sich die Geschwindigkeit der Flüssigkeit ändert, dann ändert sich auch, entgegengesetzt mit Dem, was beim Gleiten zweier fester Körper auf einander stattfindet (§. 144), der Widerstand, der durch die Reibungen hervorgebracht wird. Bei gleicher Grösse der Fläche, in welcher die zwischen zwei Querschnitten enthaltene Flüssigkeitsmasse die Röhrenwände berührt, ist der Widerstand, den diese Flüssigkeitsmasse erfährt um so grösser, je bedeutender die Geschwindigkeit der Flüssigkeit ist. Was das Gesetz betrifft, nach welchem der Widerstand mit der Geschwindigkeit zunimmt, so wird dieses am besten so ausgedrückt, dass man annimmt, dieser Widerstand sei gleich der Summe zweier Kräfte, von denen die eine proportional der Geschwindigkeit der Flüssigkeit und die andere proportional dem Quadrat dieser Geschwindigkeit ist. Wenn folglich die Geschwindigkeit doppelt, dreimal, viermal...... so gross wird als vorher, so wächst der Widerstand in einem rascheren Verhältniss als die Zahlen 2, 3, 4....., aber in einem weniger raschen als die Quadrate 4, 9, 16..... dieser Zahlen.

§. 320. Der Druck, welcher im Innern einer Flüssigkeit, die eine Röhre von überall gleichem Querschnitt mit gleichförmiger Geschwindigkeit durchfliesst, stattfindet, und den man gewöhnlich den **hydraulischen Druck** nennt, ändert sich im Allgemeinen von einem Querschnitt der Röhre zum andern. Nach den Gleichgewichtsbedingungen, die wir oben für eine, zwischen zwei Querschnitten enthaltene Flüssigkeitsmasse aufgestellt haben, ist es nicht schwer, die Aenderungen dieses Druckes aufzufinden. Denken wir uns zunächst eine gerade

horizontale Röhre BC (Fig. 428), durch welche die Flüssigkeit aus einem Gefäss A ausfliesst, so ist nach Dem, was in §. 318 gesagt wurde, klar, dass der Druck in irgend einem Querschnitt E derselben gleich den gesammten Reibungswiderständen sein muss, welche die Flüssigkeit in dem Röhrenstück EC zu überwinden hat. Denn wenn man die zwischen den Querschnitten E und C enthaltene Flüssigkeitsmasse durch eine beliebige Anzahl von Querschnitten in kleine Stücke theilt, so müssen die Unterschiede der Drückungen an den beiden Begrenzungsquerschnitten jeder dieser Stücke gleich dem Widerstande sein, den dieses Stück zu überwinden hat; die erste von den drei in §. 318 behandelten Kräften ist im Falle einer horizontalen Röhre gleich Null. Nun ist der Druck im Querschnitt C am Ende der Röhre offenbar gleich Null (vom Drucke der atmosphärischen Luft, der mit gleicher Stärke am Ende der Röhre und auf den Spiegel im Gefäss ausgeübt wird und sich also selber aufhebt, können wir absehen), und von da an nimmt er von Querschnitt zu Querschnitt um die Grösse des Widerstandes, welcher zwischen den zwei aufeinander folgenden Querschnitten enthalten ist, zu; in E ist er also gleich dem Gesammtwiderstand, den die Flüssigkeit auf dem Wege EC zu erleiden hat. Da ferner, wie in §. 319 gezeigt wurde, bei gleicher Geschwindigkeit der Widerstand, welcher sich einer Flüssigkeit beim Durchfluss durch verschieden lange Stücke einer und derselben Röhre entgegensetzt, der Länge dieser Stücke proportional ist, so folgt, dass die Unterschiede der in den Querschnitten D, E, F, G stattfindenden hydraulischen Drückungen den zwischen diesen Querschnitten enthaltenen Röhrenstücken DE, EF, FG proportional sein müssen. Wenn man daher an den verschiedenen Stellen der Ausflussröhre, wo jene Querschnitte gemacht worden sind, vertikale Glasröhrchen befestigt, die den Zweck haben, durch die Höhen der Flüssigkeitssäulen, welche sich in ihnen erheben, den hydraulischen Druck an der betreffenden Stelle zu messen, so müssen die Spiegel D′, E′, F′, G′ der Flüssigkeit in diesen Röhrchen in einer Geraden liegen, die von dem Ende C der Röhre ausgeht und von da an aufwärts steigt. Die Neigung dieser geraden Linie gegen die Axe der Röhre muss offenbar um so stärker sein, je mehr Widerstand die Röhre dem Durchflusse der Flüssigkeit entgegensetzt; sie kann in jedem speciellen Fall durch folgende ein-

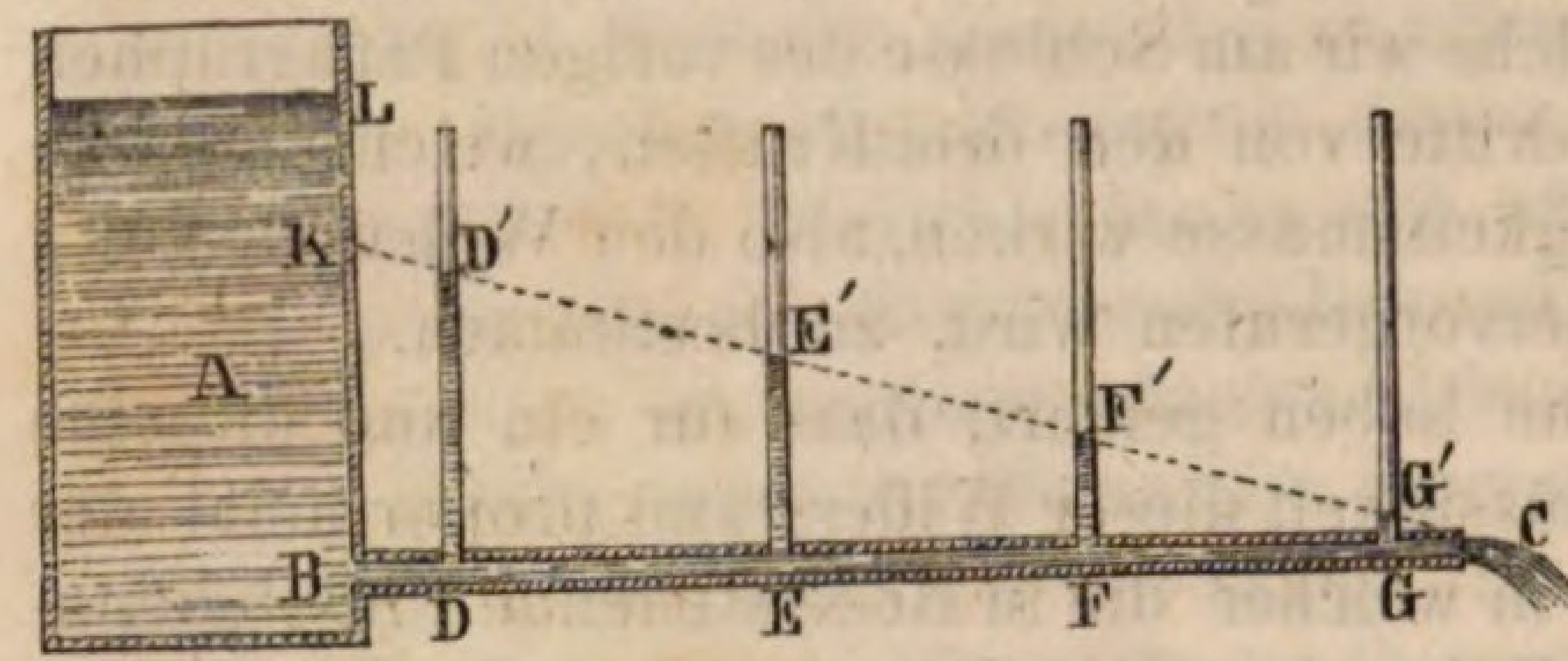


Fig. 428.

fache Betrachtung gefunden werden. Denken wir uns den Querschnitt zunächst der Einmündung B der Röhre, so muss der in demselben stattfindende Druck gleich dem in der ganzen Röhre zu überwindenden Widerstand sein. Wenn dieser Widerstand nicht vorhanden wäre, so würde das Wasser die Röhre mit einer Geschwindigkeit durchfliessen, welche dem vertikalen Abstand der Einmündung B unter dem Spiegel im Gefäss als Druckhöhe entspricht (von den Geschwindigkeitsverlusten durch plötzliche Richtungsänderungen der Flüssigkeitssäulen bei ihrem Eintritte in die Röhre hier, wie auch in der Folge, abgesehen). Durch den Widerstand der Röhre aber wird diese Geschwindigkeit vermindert und entspricht also nur einer geringeren Druckhöhe; die Differenz zwischen dieser und der erstgenannten ist offenbar gleich dem Druck, der zur Ueberwindung der Widerstände in der Röhre verwendet wird. Die Höhe, bis zu welcher sich die Flüssigkeitssäule in einem Glasröhrchen zunächst der Einmündung B in das Ausflussrohr erheben würde, ist also gleich der Differenz zwischen dem vertikalen Abstand BL der Mündung B unter der Oberfläche der Flüssigkeit im Gefäss A und der Druckhöhe, welche der Geschwindigkeit der Flüssigkeit in der Röhre entspricht. Wenn man daher in B eine Vertikale BK, gleich dieser Differenz, errichtet, und deren Endpunkt K mit dem Ende C der Röhre verbindet, so erhält man die gerade Linie, in welcher die Flüssigkeitssäulen endigen, die sich in den bei D, E, F, G angebrachten Glasröhrchen erheben und den hydraulischen Druck an diesen Stellen anzeigen.

Nehmen wir nun statt einer horizontalen eine aufwärts geneigte gerade Röhre BC (Fig. 429), durch welche das Wasser aus einem Gefäss A ausströmt; dann ist klar, dass der hydraulische Druck in irgend einem Querschnitt E ausser den Widerständen, welche das Röhrenstück EC veranlasst, auch noch die zur Axe der Röhre parallele Componente des Gewichts der in EC enthaltenen Flüssigkeitsmasse zu überwinden hat. Diese letztere Componente allein aber erfordert schon einen Druck, der einer Flüssigkeitssäule entspricht, die sich von E aus bis zur Horizontalen CH erhebt, welche durch das Ende C der Ausflussröhre gezogen gedacht wird. In einem bei E angebrachten Glasröhrchen muss sich folglich die Flüssigkeit

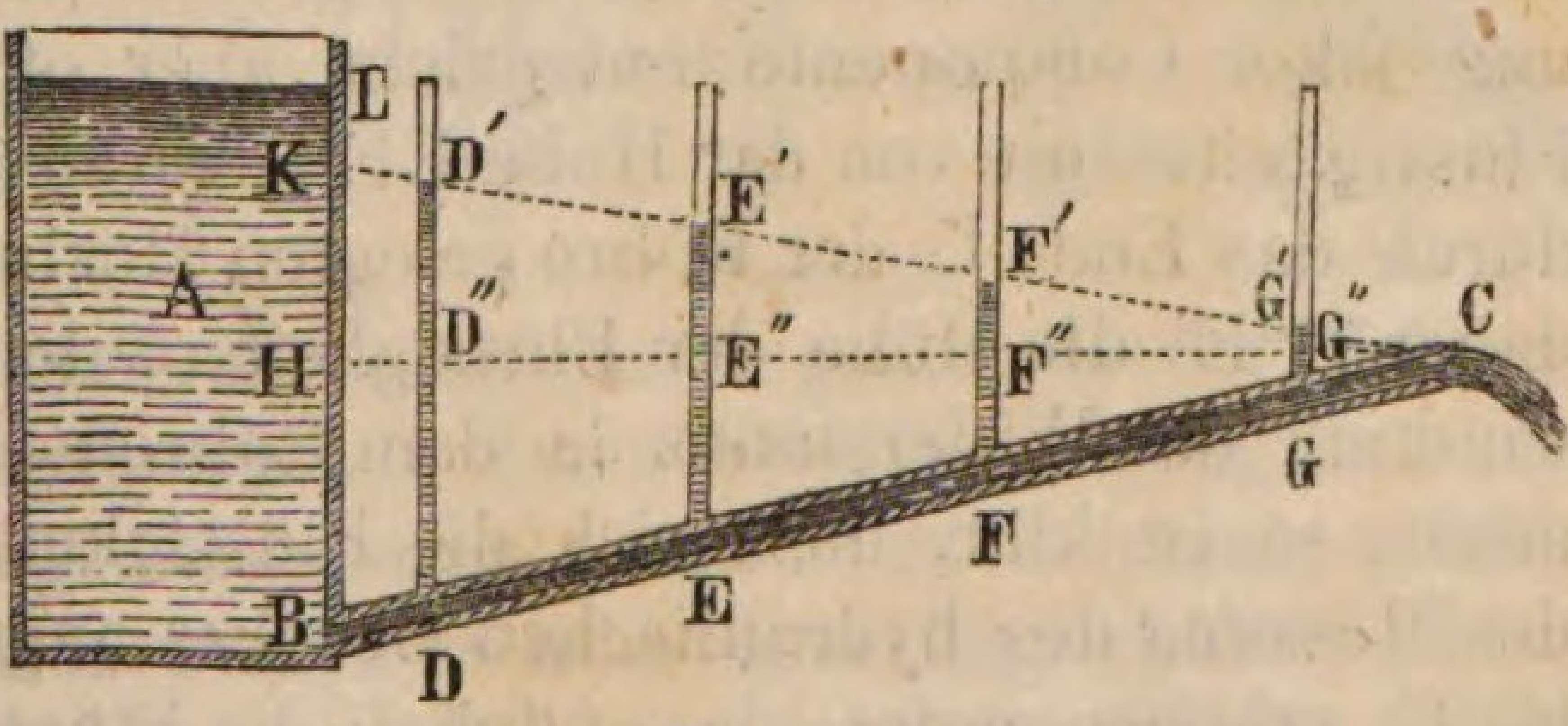


Fig. 429.

noch so weit über diese Horizontale erheben, als die Widerstände, die in dem Röhrenstück EC zu überwinden sind, erfordern. Daraus folgt nun klar, dass auch hier wieder die Enden der Flüssigkeitssäulen, welche sich in den zur Messung des Druckes in den Querschnitten D, E, F, G angebrachten Glasröhrchen erheben, in einer Geraden CK gelegen sein müssen, welche erhalten wird, wenn man die Höhe HK gleich der Differenz zwischen dem vertikalen Abstand HL des Endes C der Röhre unter dem Spiegel der Flüssigkeit im Gefäss und der Druckhöhe, welche der Geschwindigkeit der Flüssigkeit in der Röhre entspricht, macht.

Wenn die Ausflussröhre, die wir immer noch als gerade voraussetzen, abwärts geneigt ist (Fig. 430), so wirkt die zur Röhrenaxe parallele Componente des Gewichts der Flüssigkeitsmasse, welche zwischen zwei Querschnitten enthalten ist, im Sinne der Bewegung. Der in irgend einem Querschnitt E stattfindende hydraulische Druck ist folglich nur noch gleich dem Unterschied zwischen dem in dem Röhrenstück EC stattfindenden Widerstand und der zur Axe der Röhre parallelen Componente des Gewichts des Flüssigkeitsstücks EC, wobei wir zunächst voraussetzen, dass ersterer noch grösser als letztere sei. Der Wirkung jener Componente entspricht aber offenbar der Druck einer Flüssigkeitssäule von der Höhe EE″, vorausgesetzt, dass E″ in der durch das Ende C der Röhre gelegten Horizontalen CH liegt. Stellt daher E″E′ die Höhe der Flüssigkeitssäule vor, die den zur Ueberwindung des Widerstands in dem Röhrenstück EC nöthigen Druck misst, so ist klar, dass sich die Flüssigkeit in einem bei E behufs der Messung des hydraulischen Druckes angebrachten Glasröhrchen bis E′ erheben muss, dass folglich die Flüssigkeitssäule EE′ diesen hydraulischen Druck misst. Ebenso ist klar, dass in den sämmtlichen Glasröhrchen, die in den Querschnitten D, E, F, G behufs der Messung des hydraulischen Druckes eingesetzt werden, die Flüssigkeitsspiegel in einer Geraden CK liegen, die gefunden wird, indem man die Höhe HK gleich dem Unterschied zwischen dem vertikalen Abstand HL des Endes C der Röhre unter dem Spiegel im Gefäss

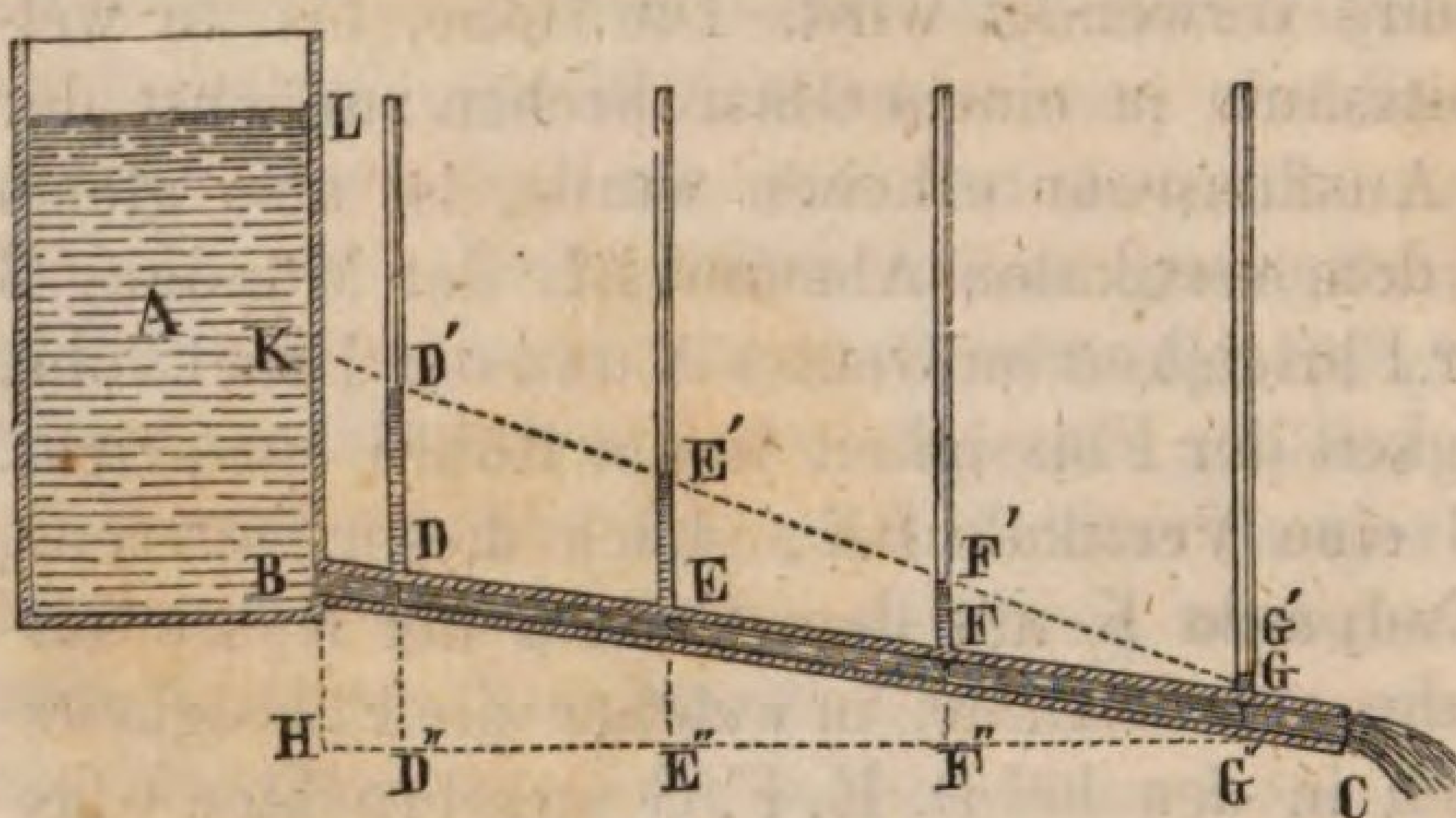


Fig. 430.

und der Druckhöhe, welche der Geschwindigkeit der Flüssigkeit in der Röhre entspricht, macht.

Es ist nicht schwer einzusehen, dass man der Röhre BC eine solche Neigung geben kann, dass die zur Röhrenaxe parallele Componente des Gewichts einer, zwischen irgend zwei Querschnitten enthaltenen Flüssigkeitsmasse gerade gleich ist dem Widerstand, welchen das zwischen den beiden Querschnitten gelegene Röhrenstück darbietet. In diesem Falle müssen die Drückungen in den beiden Begrenzungsquerschnitten der betrachteten Flüssigkeitsmasse einander gleich, und, wie man leicht sieht, gleich Null werden. Die Linie CK (Fig. 430) fällt mit der Röhrenaxe CB zusammen und die Flüssigkeit übt längs der ganzen Röhre keinen hydraulischen Druck aus.

Wenn die Neigung der Röhre nach abwärts noch grösser wird, als wir im vorigen Falle angenommen haben, so überwiegt die zur Röhrenaxe parallele Componente des Gewichts der zwischen zwei Querschnitten E, *e* (Fig. 431) enthaltenen Flüssigkeitsmasse die von letzterer zu überwindenden Widerstände. Vorausgesetzt also, dass die Flüssigkeit die Röhre noch vollständig ausfüllt, und dass folglich ihre Bewegung in derselben noch gleichförmig ist, so ist zum Gleichgewicht des Flüssigkeitsstücks E*e* erforderlich, dass die hydraulischen Drückungen in den Begrenzungsquerschnitten E, *e* eine Resultante geben, die der Richtung der Bewegung entgegengesetzt ist. Daraus würde folgen, dass der an dem vorderen Querschnitte *e* stattfindende Druck immer grösser als der an dem hintern E wirkende sein, dass folglich der hydraulische Druck nach dem Ende C der Röhre zu wachsen und an diesem Ende selbst am grössten sein müsste. Nun ist er aber bei C gleich Null und diess sagt uns, dass die Kräfte, welche in den Begrenzungsquerschnitten E, *e* eines Flüssigkeitsstücks wirken, die entgegengesetzte Richtung wie bisher, die von C nach B, haben und von C angefangen, wo sie gleich Null sind, gegen B hin stetig wachsen. In gleicher Weise verwandeln sich die Drückungen, welche die

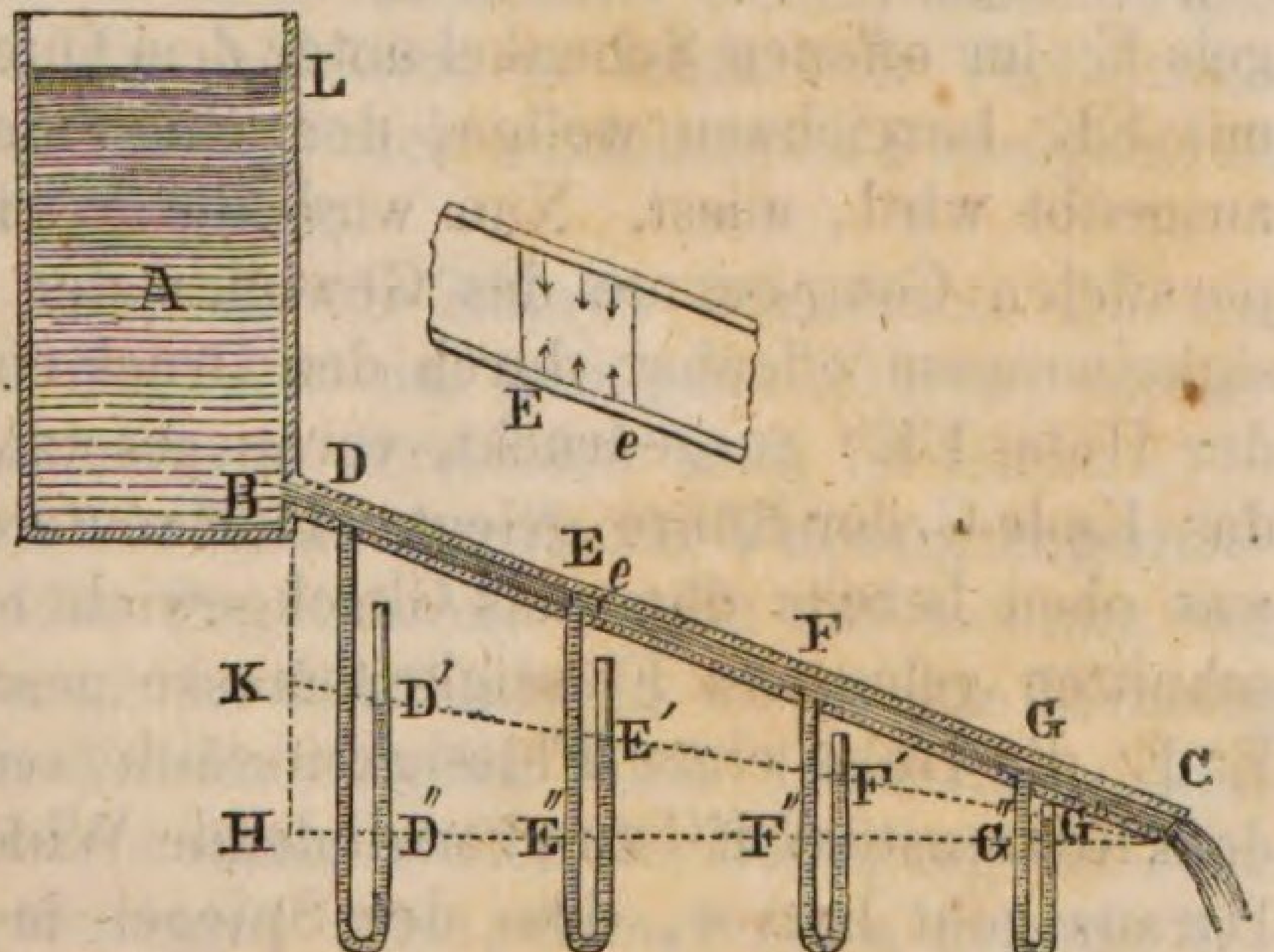


Fig. 431.

Flüssigkeit gegen die Wände der Röhre ausübt, in Zugkräfte, d. h. in Kräfte, mit denen sich die mit der Wand in Berührung stehenden Moleküle von derselben zu entfernen streben und sich auch wirklich entfernen würden, wenn sie nicht von der Adhäsion zwischen der Flüssigkeit und den Röhrenwänden daran verhindert würden. Daraus geht, wie man leicht sieht, hervor, dass jedes solche zwischen zwei Querschnitten enthaltene Flüssigkeitstück, wie Ee, seine Länge zu vergrössern und dagegen seinen Querschnitt zu verkleinern sucht (s. die Nebenfigur bei 431) und diess wirklich thun würde, wenn es nicht durch seine Adhäsion an den Wänden, die wir mit der Voraussetzung, dass die Flüssigkeit die Röhre noch vollständig erfüllt, als hinreichend gross angenommen haben, daran verhindert würde. So kann die Flüssigkeit nur eine Art von Saugen an den Röhrenwänden ausüben, das man anschaulich machen kann, indem man in irgend einem Querschnitt E eine gebogene, nach abwärts gehende Glasröhre befestigt, die mit Flüssigkeit gefüllt ist. In dieser Röhre wird sich die Flüssigkeit so stellen, wie es die Figur angibt, und es ist klar, dass der vertikale Abstand des Spiegels E′ im offenen Schenkel unter dem Querschnitt E, den wir kurz mit EE′ bezeichnen wollen, den Zug, der in diesem Querschnitt ausgeübt wird, misst. Nun wird die Wirkung der zur Röhrenaxe parallelen Componente des Gewichts der in EC enthaltenen Flüssigkeitsmasse offenbar durch den Druck einer Flüssigkeitssäule von der Höhe EE″ ausgedrückt, vorausgesetzt, dass E″ in der durch das Ende C der Röhre gelegten Horizontalen CH liegt. Nach Dem, was oben bereits über das Gleichgewicht einer zwischen zwei Querschnitten gelegenen Flüssigkeitsmasse gesagt wurde, muss folglich E″E′ die Höhe einer Flüssigkeitssäule sein, durch welche der in dem Röhrenstück EC zu überwindende Widerstand ausgedrückt wird. Daraus geht hervor, dass der Spiegel in den offenen Schenkeln der sämmtlichen Glasröhrchen, die, ähnlich wie in E, auch in den andern Querschnitten D, F, G angebracht werden, in einer geraden Linie CK liegen müssen, die gefunden wird, indem man die Höhe HK gleich dem Unterschied zwischen dem vertikalen Abstand HL des Endes C der Röhre von dem Spiegel der Flüssigkeit im Gefäss und der Druckhöhe, welche der Geschwindigkeit der Flüssigkeit in der Röhre entspricht, macht.

Wie wir gesehen haben, findet in dem Fall, wo die Neigung der Röhre die Grenze, wo in ihrer ganzen Ausdehnung kein hydraulischer Druck mehr stattfindet, überschreitet, ein Saugen der Flüssigkeit an den Röhrenwänden statt, in Folge dessen sie sich von diesen Wänden zurückzuziehen und einen kleineren Querschnitt

anzunehmen sucht. Dieser Zug ist an irgend einer Stelle E (Fig. 431) gleich der Differenz zwischen der zur Röhrenaxe parallelen Componente des Gewichts der Flüssigkeitsmasse, die in dem Röhrenstück EC enthalten ist, und dem Widerstand, welchen dieser Röhrentheil der Bewegung entgegensetzt. So lange die Neigung der Röhre noch nicht bedeutend und also jene Componente noch nicht gross genug ist, widersteht die Adhäsion zwischen der Flüssigkeit und den Wänden der Röhre dem Bestreben der ersteren, sich von den letzteren zu entfernen. Aber wenn die Neigung der Röhre zu sehr wächst, so ist klar, dass der Fall eintreten kann, wo jener Zug die Adhäsion überwindet; dann füllt die Flüssigkeit die Röhre nicht mehr aus, und die Moleküle des Strahls bewegen sich mit beschleunigter Bewegung unter ähnlichen Umständen, wie wir sie im §. 302 speciell für einen vertikalen Strahl entwickelt haben. Es ist klar, dass dieser Fall bei weiteren Röhren eher eintreten muss als bei engeren, denn bei Vergrösserung des Durchmessers einer Röhre vergrössert sich die innere Oberfläche eines Stückes derselben von bestimmter Länge, und damit einerseits die Widerstände, welche dasselbe darbietet, und andererseits die Adhäsion in einfachem Verhältniss, während das Gewicht der dieses Stück ausfüllenden Flüssigkeit im quadratischen Verhältniss zunimmt.

Wir haben bisher blos gerade Röhren betrachtet. Die Anwendung der erhaltenen Resultate auf gebogene Röhren, vorausgesetzt, dass rasche Krümmungen vermieden sind, ist leicht.

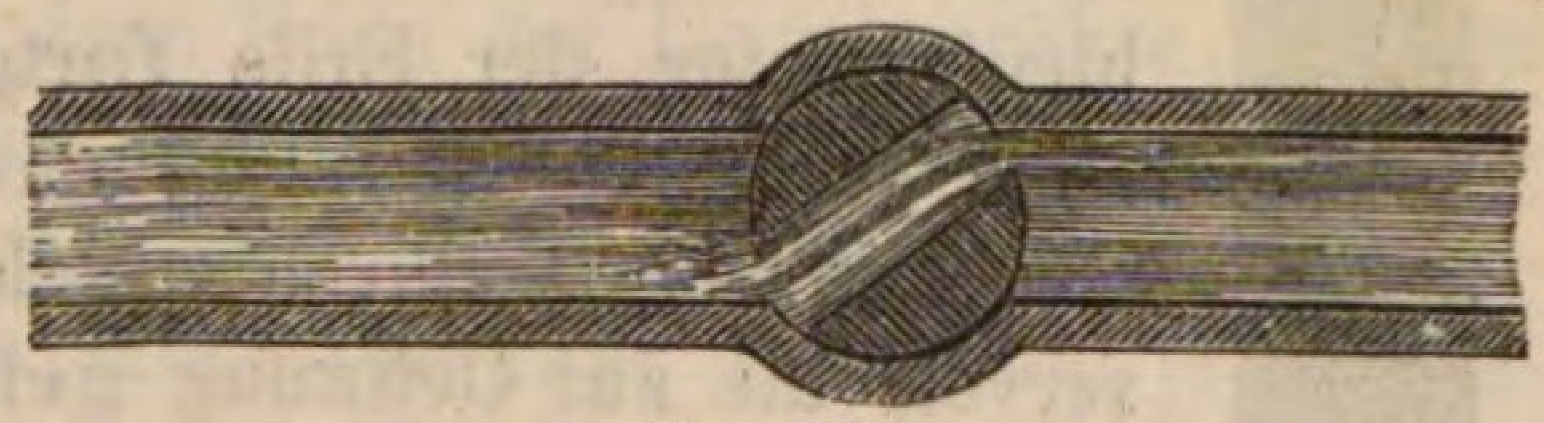
§. 321. **Wirkungen der Kniee und der Verengungen.** — Es kommt häufig vor, dass die Röhren, welche zur Leitung von Flüssigkeiten bestimmt sind, in den Punkten, wo sie ihre Richtung ändern, mit sogenannten Knieen versehen sind. Diese Kniee, ähnlich denjenigen bei den Ofenrohren, stellen der Bewegung der Flüssigkeit, welche sie durchdringen muss, immer einen grossen Widerstand entgegen. In dem Moment, wo die Flüssigkeitsfäden in einem solchen Knie ankommen, müssen sie ihre Richtung plötzlich ändern; dieser plötzliche Wechsel in der Richtung der Geschwindigkeit der Moleküle zieht aber stets einen Verlust an Arbeit nach sich, wie wir Das auch schon bei Gelegenheit der Wirkung der cylindrischen Ansatzröhrchen beobachtet haben (§. 304). Um daher die Geschwindigkeit der Bewegung einer Flüssigkeit in einer Röhre, welche Kniee enthält, auf einer gegebenen Grösse zu erhalten, muss man eine grössere Menge von Arbeit aufbieten, als wenn diese Krümmungen nicht existirten. Wo also eine Aenderung in der Richtung der Röhre, durch welche eine Flüssigkeit fliesst, nothwendig ist, da wird man, um Arbeitsverluste möglichst zu be-

seitigen, dafür sorgen, dass die Aenderung in der Richtung der Flüssigkeitsfäden nur allmälig vor sich geht; man wird zu dem Ende zwei Röhrentheile, deren Richtungen verschieden sind, nicht durch ein Knie, sondern durch eine gebogene Röhre mit einander verbinden, deren Krümmung nicht zu gross ist. Indem man auf solche Weise den Weg, welchen eine Flüssigkeit zu durchlaufen hat, möglichst abrundet, kann man die Widerstände, welche sich ihrer Bewegung entgegensetzen, so verringern, dass sie nahezu nur noch ebenso gross sind als in dem Fall, wo die Röhre ihrer ganzen Länge nach die nämliche Richtung hat.

Wenn die Röhre, in welcher eine Flüssigkeit fliesst, inwendig eine plötzliche Verengung darbietet, so ist der Durchgang der Flüssigkeit durch diese Verengung von einem Arbeitsverlust begleitet, welcher ebenfalls aus den plötzlichen Aenderungen entspringt, welche die Geschwindigkeit der Moleküle erfährt; nur betreffen diese Aenderungen hier mehr die Grösse der Geschwindigkeit als ihre Richtung. Der Widerstand, welchen eine Verengung der Röhre stets hervorruft, würde viel geringer sein, wenn diese Verengung nur nach und nach einträte, sodass die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsmoleküle nur allmälig verändert würde; denn diese Geschwindigkeit muss ja um so grösser werden, je kleiner der Querschnitt ist, wo sich jene Moleküle befinden. Nichtsdestoweniger müssen die Verengungen, selbst wenn sie nur ganz allmälig auftreten, allemal eine Vergrösserung der Widerstände hervorbringen; denn einerseits nimmt die Flüssigkeit darin eine grössere Geschwindigkeit an als in dem übrigen Theil der Röhre, andererseits berührt eine und dieselbe Flüssigkeitsmasse die Wände in einer um so grösseren Oberfläche, je kleiner der Durchmesser der Röhre wird; aus diesem doppelten Grunde also wird die Reibung, welche die Flüssigkeit in einer Röhre erfährt (§. 319), durch die Gegenwart von Verengungen vermehrt. Man sieht daraus, dass man es sorgfältig vermeiden muss, Flüssigkeiten durch enge Durchgänge fliessen zu lassen; wenn diess aber nicht zu umgehen ist, so muss man wenigstens den Wänden der Röhre an der betreffenden Stelle eine solche Gestalt geben, dass sie nur allmälig die Aenderung in der Geschwindigkeit der Flüssigkeitsmoleküle, welche die Verengung zu durchdringen haben, hervorbringt.

§. 322. Wir haben oben (§. 159) gesagt, dass es in gewissen Ausnahmsfällen nöthig wird, die Wirkung der passiven Widerstände, welche sich bei der Bewegung entwickeln, zu vermehren, um die Geschwindigkeit der sich bewegenden Körper zu moderiren. Wenn es sich um eine Flüssigkeit, welche in einer Röhre fliesst, handelt,

so erreicht man diesen Zweck, indem man sie nöthigt, durch eine mehr oder weniger bedeutende Verengung hindurch zu gehen. Zu diesem Behufe bringt man in der Röhre einen Hahn an, der so eingerichtet ist, dass seine Oeffnung, wenn er die passende Stellung hat, nur einen Theil des Innern der Röhre bildet, und dass folglich die Bewegung der Flüssigkeit, in dem sie diesen Hahn durchdringt, genau so ist, als wenn dieser gar nicht vorhanden wäre. Wenn man alsdann die Bewegung der Flüssigkeit mässigen will, so darf man nur den Hahn etwas drehen (Fig. 432). Seine Oeffnung trifft dann nicht mehr mit den benachbarten Theilen der Röhre zusammen, und daraus folgt eine plötzliche Verengung, welche eine Verringerung der Geschwindigkeit der Flüssigkeitsmoleküle hervorbringt. Die auf diese Weise erzielte Wirkung wird um so bedeutender sein, je mehr der Hahn gedreht wird.


Fig. 432.

Um denselben Zweck zu erreichen, kann man auch noch ein anderes Mittel anwenden, das darin besteht, dass man in der Röhre ein sogenanntes Drosselventil anbringt. Dieses Ventil ist nichts anderes als eine kreisrunde Scheibe, welche an einer Axe so befestigt ist, dass dieselbe, indem sie quer durch die Röhre hindurchgeht, mit einem der Durchmesser der Scheibe zusammenfällt. Indem man diese Axe um sich selber dreht, bewegt man zu gleicher Zeit die Scheibe, welcher man auf diese Weise die verschiedensten Stellungen im Innern der Röhre geben kann. Wenn man diese Scheibe so stellt, dass ihre Ebene senkrecht auf der Axe der Röhre steht, so legt sie sich in ihrem ganzen Umfang an die Wände der Röhre an und verschliesst so vollständig den Durchgang durch die Röhre. Wenn im Gegentheil die Ebene der Scheibe dieselbe Richtung wie die Axe der Röhre hat, so bietet sie der bewegten Flüssigkeit nur ihren Querschnitt dar, und diese kann auf beiden Seiten frei vorbeifliessen; in diesem Fall verengt die Scheibe den Raum, welcher für den Durchfluss der Flüssigkeit gelassen ist, nur unbedeutend. Indem man folglich der Scheibe Stellungen gibt, welche zwischen den beiden äussersten, von denen wir eben gesprochen haben, gelegen sind, kann man eine grössere oder geringere Verengung und dadurch eine entsprechende Verminderung der Geschwindigkeit hervorbringen. Ein Beispiel für diese Drosselventile hat man in den Klappen der Rauchrohre (Fig. 433), deren man sich bedient, um die aufsteigende Bewegung des Rauches in diesen Rohren zu vergrössern.

§. 323. **Springbrunnen.** — Wir haben gesagt (§. 300), dass in dem Fall, wo sich eine Flüssigkeit durch eine Oeffnung ergiesst, welche so angebracht ist, dass ein vertikal von unten nach oben gerichteter Strahl hervorgebracht wird, dieser Strahl nahezu bis zur Höhe des Spiegels der Flüssigkeit im Reservoir emporsteigt. Auf diesem Gesetze beruhen die Springbrunnen. Das Wasser, welches in einem höher gelegenen Behälter enthalten ist, wird durch eine Röhre herabgeleitet, welche sich unten horizontal umbiegt, unter der Erde fortgeht und sich in eine nach oben gerichtete Oeffnung endigt.


Fig. 433.

Die Röhre, durch welche das Wasser von dem Reservoir bis zur Oeffnung geführt wird, hat oft eine sehr bedeutende Länge und veranlasst in Folge dessen Reibungen, welche die Bewegung des Wassers verzögern, und durch welche die Höhe des aufspringenden Strahls bedeutend vermindert wird. Damit diese Widerstände, welche das Wasser erfährt, nicht zu bedeutend werden, ist es wichtig, der Leitungsröhre einen hinreichend grossen Querschnitt zu geben; dadurch vermindert man einerseits die Geschwindigkeit des Wassers in der Röhre und andererseits die Grösse der Wandfläche, welche von ein und derselben Flüssigkeitsmasse berührt wird (§. 319). Gewöhnlich wählt man den Durchmesser der Röhre von der Grösse, dass die Geschwindigkeit des Wassers in ihr 2 oder 3 Decimeter in der Secunde nicht übersteigt.

Wenn die Ausflussöffnung mit einem Ansatzröhrchen versehen ist, so bringt dasselbe, indem es die Richtung der Flüssigkeitsfäden plötzlich abändert, eine sehr bedeutende Verminderung der Sprunghöhe des Strahls hervor. Ein cylindrisches Ansatzröhrchen z. B. vermindert die Ausflussgeschwindigkeit einer Flüssigkeit in dem Verhältniss von 1 zu 0,82 (§. 304); die Höhe, bis zu welcher sich die Flüssigkeit in Folge ihrer Geschwindigkeit, die sie beim Austritt aus dem Ansatzröhrchen besitzt, erheben kann, ist folglich nur 0,67 (0,67 ist das Quadrat von 0,82) oder ungefähr $\frac{2}{3}$ von derjenigen, zu welcher die Flüssigkeit emporsteigen würde, wenn die Oeffnung in dünner Wand angebracht wäre. Um folglich die Sprunghöhe des Strahls nicht zu beeinträchtigen, muss man die Oeffnung in einer Platte von geringer Dicke anbringen, oder auch eine abgerundete Oeffnung construiren (§. 306). Die erstere dieser Einrichtungen ist der zweiten in Rücksicht auf die Schönheit und Klarheit des Strahls, welche durch die Adhäsion der Flüssigkeitsfäden an den Wänden der abgerundeten Oeffnung beeinträchtigt werden, vorzuziehen.

Die Höhe, bis zu welcher der Strahl empor springt, wird ausserdem noch durch den Widerstand der Luft, sowie auch durch die Wassertheile vermindert, welche, nachdem sie die grösste Höhe bis zu welcher sie sich erheben können, erreicht haben, auf den aufsteigenden Strahl zurückfallen und dadurch einen Theil der Geschwindigkeit der Moleküle, aus denen derselbe besteht, vernichtet. Diess letztere ist der Grund, warum durch eine geringe Neigung des Strahls die Sprunghöhe desselben vermehrt wird.

Häufig bringt man an dem Ende der Leitungsröhre, welche das Wasser vom Reservoir her zuführt, mehrere Oeffnungen nebeneinander an. Diese Oeffnungen sind dann meist in den verschiedenen Punkten einer, wie ein Kugelabschnitt gestalteten Wand angebracht, wodurch Strahlen von verschiedenen Richtungen hervorgebracht werden, welche eine sogenannte Garbe bilden. Der Strahl welcher der mittleren Oeffnung entspricht, ist vertikal gerichtet; die anderen, welche sich regelmässig um diesen reihen, sind an der Oeffnung, aus welcher sie entspringen, mehr oder weniger schief gerichtet, je nachdem der Theil der Wand, in welchem die Oeffnung angebracht ist, mehr oder weniger gegen den Horizont geneigt ist. Die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser aus den verschiedenen Oeffnungen tritt, ist für alle diese Oeffnungen dieselbe; die geneigten Strahlen, welche daraus hervorspringen, nehmen also die Gestalt von Parabeln an, welche sämmtlich ein und derselben Wurfgeschwindigkeit entsprechen (§. 120). Die horizontale Sprungweite eines Strahls hängt folglich nur von der Richtung ab, in welcher derselbe aus seiner Oeffnung tritt; die grösste Sprungweite kommt dem zu, dessen ursprüngliche Richtung einen Winkel von 45° mit dem Horizont macht, und diese Sprungweite ist doppelt so gross als die Höhe, bis zu welcher sich der mittelste Strahl vertikal erhebt.

§. 324. **Artesische Brunnen.** — Im Innern der Erde, in mehr oder weniger grosser Tiefe unter der Oberfläche derselben, gibt es natürliche Wasserbehälter, die oft eine sehr grosse Ausdehnung haben. Gewöhnlich ist das Wasser in demselben in Bewegung und bildet so einen wirklichen unterirdischen Strom. Wenn man an solchen Stellen ein Bohrloch eintreibt, das tief genug ist, um das Reservoir zu erreichen, so erhebt sich die Flüssigkeit in demselben, gewöhnlich bis zu seiner Mündung, und häufig wird sogar noch ein vertikal aufsteigender Strahl erzeugt, der sich in mehr oder weniger grosser Höhe über die Oberfläche der Erde erhebt. Brunnen dieser Art nennt man artesische Brunnen; dieser Name rührt von der ehemaligen Grafschaft Artois in Frankreich her, wo sie in der neueren Zeit zum erstenmal versucht wurden; doch

ist kein Zweifel, dass sie bereits im Alterthum bekannt waren; man hat solche Brunnen in den ägyptischen Oasen gefunden, deren Gründung sicher bis zu einer sehr frühen Epoche hinaufreicht.

Um sich über die Erscheinungen, welche man bei den artesischen Brunnen beobachtet, vollständig Rechenschaft zn geben, muss man sich erinnern, dass die Erdrinde in der Nähe ihrer Oberfläche im Allgemeinen von einer grossen Anzahl von übereinander lagernden Schichten gebildet wird. Diese Schichten, die sehr verschiedener Natur sind, haben oft eine sehr grosse Ausdehnung. Ihre Dicke, ohne für jede derselben constant zu bleiben, zeigt nichtsdestoweniger eine grosse Regelmässigkeit, und wenn sich dieselbe auch auf der einen oder anderen Seite einer Schichte vermehrt oder vermindert, so geschieht das doch nur allmälig. Die verschiedenen Schichten, welche auf diese Weise übereinander gelagert sind, werden also durch Flächen von einander getrennt, welche man als nahezu parallel unter sich betrachten kann. Aber diese Trennungsflächen, welche zur Zeit der Bildung der Schichten eine horizontale Lage gehabt haben mögen, haben in Folge der geologischen Bewegungen, welche diese Schichten in der Folge erfahren mussten, Gestaltsveränderungen erlitten; die Folge davon ist, dass in Wirklichkeit die Schichten gewöhnlich geneigt sind, und dass sich diese Neigung von einem ihrer Punkte zum anderen ändert.

Denken wir uns nun, dass an einem Ort das Erdreich von solchen übereinander gelagerten Schichten (Fig. 434), von denen wir

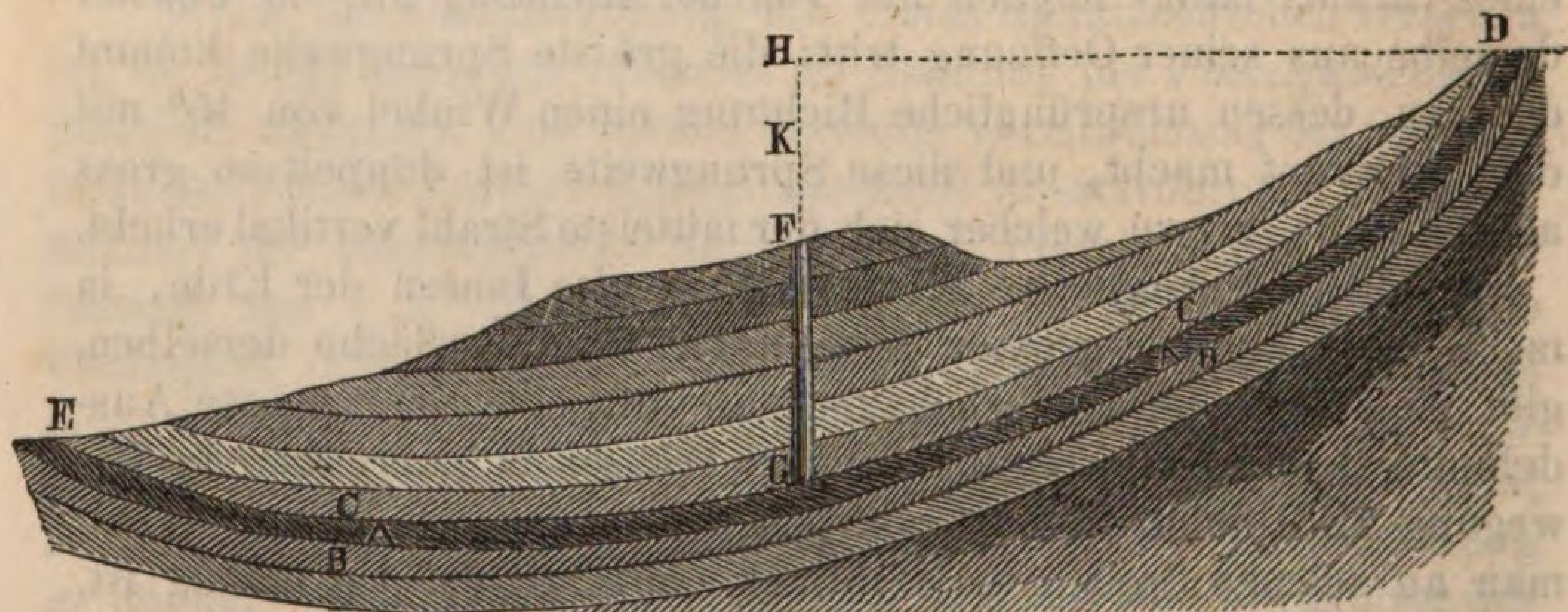


Fig. 434.

eben gesprochen haben, gebildet werde, und dass sich unter diesen Schichten eine, AA, befinde, in welcher sich das Wasser leicht bewegen kann; diese Schichte kann z. B. aus Sand oder überhaupt aus Material bestehen, das zahlreiche Ritzen und Spalten darbietet. Nehmen wir ferner an, dass diese Schichte zwischen zwei anderen, BB, CC, enthalten sei, welche das Wasser nur schwer, oder noch

besser, gar nicht durchdringen lassen. Wenn eine gewisse Menge Wasser in die Schichte AA eindringt, so bewegt es sich in den Zwischenräumen dieser sogenannten wasserführenden Schichte fort, ohne weder an der oberen noch an der unteren Seite derselben austreten zu können; es wird durch die Gegenwart der beiden undurchdringlichen Schichten BB und CC, welche gleichsam zwei undurchdringliche Wände bilden, in der Schichte AA zurückgehalten.

Die Punkte, wo die Schichte AA endigt, liegen gewöhnlich an der Oberfläche der Erde; wenn diess der Fall ist, so sagt man, die Schichte streiche in diesen Punkten zu Tag. Das Wasser, welches sich auf der Erdoberfläche befindet, wie z. B. das Regenwasser oder auch wohl das Wasser der Bäche und Flüsse, kann folglich in die Schichte AA durch jene Punkte eindringen, sodass diese Schichte für gewöhnlich mit Wasser gefüllt sein wird. Wenn die sämmtlichen Punkte, in welchen die wasserführende Schichte zu Tag streicht, genau in der nämlichen Horizontalebene gelegen wären, so würde sich das in dieser Schichte befindliche Wasser im Gleichgewicht befinden und ruhig in derselben stehen bleiben. Aber dieser Fall tritt niemals ein: es gibt unter den Punkten, in denen eine Schichte zu Tage streicht, immer solche, welche höher als die anderen gelegen sind. Wenn man sich nun denkt, dass das Wasser von aussen durch diese höher gelegenen Punkte in die Schichte eintritt, so kann es sich nicht im Gleichgewicht halten und tritt nothwendig bei den tiefer gelegenen Punkten, in welchen die Schichte zu Tage streicht, wieder aus; es wird folglich im Innern der Schichte ein continuirlicher Strom hervorgebracht; das Wasser tritt auf der einen Seite ein und auf der anderen wieder aus.

Es sei D (Fig. 434) der Eintrittspunkt des Wassers in die wasserführende Schichte und E die Stelle, wo es wieder austritt. Wenn man nun an dem Orte F der Erdoberfläche ein vertikales Bohrloch FG bis zur Schichte AA hinab eintreibt, so wird das in dieser Schichte sich bewegende Wasser in demselben emporsteigen, und es kann selbst über die Oeffnung F sich erheben und bis zu grösserer oder geringerer Höhe emporspringen. Setzen wir zunächst voraus, dass man an der Mündung F des Bohrloches eine vertikale Röhre von solcher Höhe angebracht habe, dass das Wasser in derselben stehen bleiben muss, ohne oben ausfliessen zu können. Wenn sich alle Punkte, in denen die Schichte AA zu Tage streicht, im Niveau des Eintrittspunkts D befänden, so müsste das Wasser in dieser Röhre nach dem Gesetz der communicirenden Gefässe bis zu einem Punkte H, der gleichfalls mit D in einer Horizontalebene liegt, empor steigen. Aber wenn das Wasser bei dem

Punkte D ein- und bei dem tiefer gelegenen Punkte E austritt, so kann es sich in der Röhre nicht bis zum Punkte H erheben; seine freie Oberfläche wird in einem Punkte K, unterhalb des Punktes D und über dem Punkte E gelegen, stehen bleiben. Das Bohrloch FG und die Röhre, welche über der Mündung desselben angebracht ist, spielen hier im Verhältniss zu der wasserführenden Schichte, in welcher sich die Flüssigkeit bewegt, dieselbe Rolle wie die in den Punkten D, E, F, G der Ausflussröhre AB (Fig. 430 Seite 574) angebrachten Glasröhrchen. Man sieht daraus, dass der Punkt K (Fig. 434), welchen man gewöhnlich das Gleichgewichtsniveau des artesischen Brunnens FG nennt, um so tiefer liegt, je näher der Brunnen dem Ausgangspunkt E des unterirdischen Stroms gelegen ist. Es kann also, wie man das in der That auch öfter beobachtet hat, das Gleichgewichtsniveau von artesischen Brunnen, die wenig entfernt von einander sind und in derselben wasserführenden Schichte endigen, ein sehr verschiedenes sein.

Vorausgesetzt, dass das Gleichgewichtsniveau des Brunnens FG immer noch in K gelegen sei, so wird, wenn man an der Mündung F keine Röhre anbringt, das Wasser aus dieser Mündung hervorspringen; aber es wird sich dabei nicht bis zu dem Punkte K erheben. Damit das Wasser bis zu seinem Gleichgewichtsniveau emporspringen könnte, dürfte sich seiner Bewegung, welche es unter der Wirkung des Druckes, den es an dem unteren Ende des Bohrloches erfährt, anzunehmen sucht, kein Hinderniss entgegensetzen. Aber diess ist niemals der Fall, indem das Wasser in dem Bohrloch, welches gewöhnlich eng und sehr tief ist, emporsteigt, entwickelt es eine Reibung, welche seine Bewegung verzögert, und in Folge deren seine Geschwindigkeit bedeutend unter die herabgedrückt wird, welche es ohne diese Reibung annehmen würde.

Wenn man an der Mündung des Schachtes eine Röhre anbringt, welche sich nicht ganz bis zum Gleichgewichtsniveau K erhebt, so steigt das Wasser in dieser Röhre in die Höhe und fliesst an ihrer oberen Oeffnung aus. Die Ausflussgeschwindigkeit daselbst wird aber um so kleiner werden, je mehr sich das obere Ende der Röhre dem Punkte K nähert. Die Quantität des durch den artesischen Brunnen gelieferten Wassers vermindert sich also in dem Maasse, als man es mittelst einer solchen Röhre auf eine grössere Höhe steigen zu machen sucht; und diese Quantität wird ganz Null, wenn man es bis zum Gleichgewichtsniveau selbst heraufsteigen lassen wollte.

Die Bohrlöcher der artesischen Brunnen haben meist nur einen Durchmesser von einigen Decimetern; ihre Tiefe ist dagegen manchmal sehr gross. Man bohrt diese Löcher mittelst Meiseln oder

Bohrern von verschiedener Form, welche entweder an dem Ende eines Eisenstabs, den man nach Belieben verlängern oder verkürzen kann, oder auch einfach an dem Ende eines Seiles angebracht sind. Die Bohrlöcher müssen gewöhnlich in einem grossen Theil ihrer Tiefe, wo nicht in der ganzen, mit einer Futterröhre versehen werden, welche dazu bestimmt ist, das Einstürzen ihrer Wände zu verhüten. Als ein interessantes Beispiel eines artesischen Brunnens möge hier derjenige erwähnt werden, den die Stadt Paris in dem Schlachthaus von Grenelle bauen liess; er hat eine Tiefe von 546 Meter, und sein Wasser erhebt sich in einer Röhre bis in eine Höhe von 37 Meter über die Oberfläche der Erde; er liefert täglich ungefähr 3000 Cubikmeter (48000 Eimer bayerisch).

§. 325. Um das Gleichgewichtsniveau eines artesischen Brunnens zu bestimmen, ist es nicht gerade nothwendig, an seiner Mündung eine vertikale Röhre zu befestigen, welche sich bis zu diesem Niveau erhebt; dieses Mittel wäre in gewissen Fällen nur sehr schwierig anzuwenden; es kann durch folgendes ersetzt werden. Man verschliesst die Mündung des Bohrloches mittelst eines Pfropfens, der fest genug hält, dass er dem Drucke des Wassers auf seine untere Fläche zu widerstehen vermag; hierauf befestigt man in einer Oeffnung, welche zuvor in diesen Propfen gebohrt wurde, eine Röhre, die mit einem Manometer in Verbindung ist (§§. 274 und 275). Die Luft dieser Röhre, welche durch das Wasser des artesischen Brunnens, das in sie eindringt, zusammengepresst wird, drückt ihrerseits wieder auf das Quecksilber des Manometers und der auf diese Weise hervorgebrachte Druck kann in Atmosphären ausgedrückt werden. Wenn man von der so erhaltenen Zahl eine Einheit abzieht und den Rest mit $10^m,33$ (§. 262) multiplicirt, so erhält man die Höhe des Gleichgewichtsniveau's des artesischen Brunnens über der Mündung seines Bohrloches, ausgedrückt in Metern. Man sieht in der That, dass der durch das Wasser auf die untere Fläche des Propfens ausgeübte Druck, der durch das Manometer gemessen wird, genau gleich dem ist, der eine Wassersäule zu tragen vermag, die sich, in dem Fall, wo das Bohrloch nicht verschlossen, sondern mit einer vertikalen Röhre von genügender Höhe versehen ist, bis zum Gleichgewichtsniveau erheben könnte. Der in Rede stehende Druck ist im Stande dieser Wassersäule und dem Drucke der atmosphärischen Luft, welcher auf ihre freie Oberfläche ausgeübt wird, das Gleichgewicht zu halten; er ist also gleich 2, 3, 4 Atmosphären, je nachdem die Höhe des Gleichgewichtsniveau's über der Mündung des Bohrloches 1, 2, 3 mal $10^m,33$ beträgt.

Es kommt oft vor, dass sich die Wassermenge, welche ein artesischer Brunnen liefert, vermindert. Diese Verminderung kann von zwei Ursachen herrühren: entweder übt der unterirdische Strom Wasser gegen den untersten Theil des Bohrloches keinen so grossen Druck mehr aus, oder auch das Innere dieses Bohrloches selbst ist durch Einstürzungen zum Theil verschüttet oder in gewissen Punkten von den festen Stoffen, welche das Wasser stets mit sich führt, verstopft worden. Ob die eine oder die andere dieser beiden Ursachen die Verringerung der Wassermenge des Brunnens bewirkt, kann in jedem einzelnen Fall leicht durch die Bestimmung des Gleichgewichtsniveaus ermittelt werden. In dem ersteren Fall findet man, dass dieses Niveau sich gesenkt hat; im zweiten dagegen ist keine Aenderung in der Höhe desselben eingetreten.

Es gibt gewisse artesische Brunnen, deren Wassermenge, welche sie liefern, sich mit der Höhe des Wassers in einem benachbarten fliessenden Gewässer verändert. Eine Erhöhung des Spiegels in diesem fliessenden Wasser ist von einer Vermehrung der Wassermenge begleitet, welche der Brunnen liefert. In ähnlicher Weise ändert sich die Wassermenge eines artesischen Brunnens, der in der Nähe des Meeres gelegen ist, periodisch mit der Ebbe und Fluth; diese Wassermenge vermehrt oder vermindert sich, je nachdem die Oberfläche des Wassers in dem nahen Meere steigt oder fällt. Der Grund dieser Erscheinung ist nach dem, was wir bisher gesagt haben, leicht einzusehen. Die unteren Punkte, in denen die wasserführende Schichte, durch welche der Brunnen gespeist wird, zu Tage streicht, diejenigen also, durch welche das Wasser aus dieser Schichte austritt, können verschiedene Lagen haben; wenn diese Punkte an solchen Stellen der Erdoberfläche gelegen sind, die für gewöhnlich nicht mit Wasser bedeckt sind, so tritt das Wasser ungehindert aus, es entspringen Quellen; aber dem ist nicht mehr so, wenn jene Punkte unter der Oberfläche des Wassers in einem Flusse oder einem Meere gelegen sind. In diesem letzteren Falle hat die Ausflussöffnung des unterirdischen Wasserstroms einen Druck zu erleiden, welcher von der Höhe des Wasserspiegels in dem Flusse oder dem Meere über dieser Oeffnung abhängig ist. Wenn sich folglich diese Höhe ändert, so ändert sich jener Druck in gleichem Sinne, und diese Aenderung macht sich natürlich in allen Punkten des unterirdischen Stroms fühlbar. Das Gleichgewichtsniveau eines artesischen Brunnens, der durch diesen Strom gespeist wird, hebt und senkt sich also zu gleicher Zeit mit dem Spiegel des Wassers, unter welchem die wasserführende Schichte in ihren untersten Punkten zu Tage streicht, und

bringt dadurch eine entsprechende Vermehrung oder Verminderung der Wassermenge, welche der Brunnen liefert, hervor.

§. 326. Wenn das Gleichgewichtsniveau eines artesischen Brunnens unter der Erdoberfläche gelegen ist, so kann das Wasser nicht bis zur Mündung des Bohrloches emporsteigen; dieser Brunnen kann daher das Wasser nur in derselben Weise, wie die gewöhnlichen Brunnen liefern, unter der Bedingung also, dass man gewisse Hilfsmittel anwendet, um das Wasser vollends bis auf die Oberfläche der Erde zu fördern. Aber wenn man, anstatt Wasser aus diesem Brunnen auszuschöpfen, im Gegentheil solches hineingiesst und dadurch das Niveau zu heben sucht, so wird das Gleichgewicht gestört. Die Wassersäule, welche nun in dem Brunnen steht, ist zu hoch, um durch die Drückungen, welche auf den untersten Theil des Bohrloches ausgeübt werden, noch getragen werden zu können; sie muss folglich sinken, bis das Niveau wieder an der alten Stelle steht. Man kann daher in einen solchen Brunnen ununterbrochen Wasser eingiessen, ohne dass er sich füllt; das eingegossene Wasser fliesst in den unterirdischen Wasserbehälter ab, mit welchem der Brunnen in Verbindung steht. Solche Brunnen nennt man absorbirende Brunnen.

Man bedient sich der absorbirenden Brunnen sehr häufig, um sich gewisser schädlicher Wasser zu entledigen, um z. B. sumpfiges Terrain auszutrocknen, oder um die Feuchtigkeit der Erde in der Nachbarschaft wichtiger Bauten, denen sie Schaden bringen könnte, zu entfernen, oder endlich um die ungesunden Flüssigkeiten die in gewissen industriellen Etablissements erzeugt werden, zu beseitigen.

Ein interessantes Beispiel eines absorbirenden Brunnens ist der zu Saint-Denis bei Paris. Indem man auf dem Postplatze daselbst ein Bohrloch eintrieb, begegnete man zuerst einer absorbirenden Schichte, dann kam man tiefer unten auf einen Wasserbehälter, der einen oben heraus springenden Strahl liefert, und endlich noch tiefer unten auf einen eben solchen, dessen Wasser aber besser als das des vorhergehenden war. Man brachte nun in diesem Bohrloch drei concentrische Röhren an, die alle drei bis zur Oberfläche der Erde heraufreichten, aber bis in verschiedene Tiefen hinabgingen. Die innerste und engste der drei Röhren wurde bis zu der zweiten wasserführenden Schichte, die einen oben herausfliessenden Strahl lieferte, eingesenkt. Die zweite Röhre, welche die erste so umhüllt, dass zwischen den beiden ein freier ringförmiger Raum bleibt, steigt bis zu der ersten wasserführenden Schichte hinab, welche das Wasser bis an die Oberfläche der Erde liefert. Die dritte Röhre endlich, welche die zweite auf dieselbe Art, wie diese die erste, umfasst,

geht nur bis zur absorbirenden Schichte. In Folge dieser Einrichtung steigt das Wasser der untersten wasserführenden Schichte durch die mittelste Röhre herauf; dasjenige der zunächst darüber gelegenen durch den ringförmigen Raum zwischen der ersten und zweiten Röhre, und der Ueberschuss dieses letzteren Wassers, der nicht verwendet wird, ergiesst sich in den ringförmigen Raum zwischen der zweiten und dritten Röhre in den absorbirenden Brunnen.

§. 327. **Bewegung des Wassers in den Kanälen.** — Wenn das Wasser in einem Kanal in Bewegung ist und denselben in seiner ganzen Länge durchläuft, so ist diese Bewegung, insoferne die Umstände, unter denen sie stattfindet, dieselben bleiben, eine völlig regelmässige. Vorausgesetzt, dass der Kanal durchaus dieselbe Form und dieselben Dimensionen habe, sowohl nach der Breite als nach der Tiefe, und dass die Steigung seiner Sohle ebenfalls durchweg die gleiche ist, so wird man finden, dass die Bewegung der Flüssigkeit überall in den verschiedenen Querschnitten, welche man sich der ganzen Ausdehnung des Kanals nach denken kann, genau die nämliche ist. Demnach ist es klar, dass sich jedes Molekül gleichförmig und in gerader Linie bewegen, und dass die freie Oberfläche der Flüssigkeit eben, und so geneigt sein muss, dass sie zur Sohle des Kanals parallel ist.

Die Bewegung des Wassers in einem Kanal kann mit der Bewegung einer Flüssigkeit in einer Röhre verglichen werden, deren Querschnitte ihrer ganzen Länge nach gleichgross sind. Der einzige Unterschied besteht darin, dass in dem Kanal das Wasser eine freie Oberfläche hat, während in einer Röhre die Flüssigkeit von den festen Wänden derselben ganz umhüllt wird. Die oben (§§. 316 bis 319) angestellten Betrachtungen werden also hier ebenfalls angewendet werden können, nur muss man dem oben bezeichneten Unterschied gehörig Rechnung tragen.

Zunächst ergibt sich, dass die verschiedenen Flüssigkeitsfäden nicht die nämliche Geschwindigkeit haben (§. 316); sie bewegen sich um so schneller, je weiter sie von den festen Wänden entfernt sind, zwischen denen das Wasser fliesst. Die grösste Geschwindigkeit wird also derjenige besitzen, der sich an der freien Oberfläche des Wassers, in der Mitte der Breite des Kanals, befindet; und wenn man sich von diesem Flüssigkeitsfaden aus den Ufern oder der Sohle des Kanals in irgend einer Richtung nähert, so wird man eine immer kleinere und kleinere Geschwindigkeit finden. Aber wir haben dabei vernachlässigt, dass die freie Oberfläche des Wassers mit der atmosphärischen Luft in Berührung steht, und desshalb ist das Resultat, das wir soeben erhalten haben, nicht streng richtig: die grösste

Geschwindigkeit der Flüssigkeitsmoleküle wird nicht an der freien Oberfläche selbst, sondern etwas unterhalb derselben beobachtet. Die atmosphärische Luft übt einen Druck auf die freie Oberfläche des Wassers aus und bringt in Folge dessen einen, wenn auch nur schwachen Reibungswiderstand hervor, der die Bewegung der Flüssigkeitsmoleküle an der Oberfläche etwas verzögert.

Um sich davon zu überzeugen, dass in der That die Geschwindigkeit des Wassers in der Mitte der Breite des Kanals auf der Oberfläche etwas geringer ist, als in geringem Abstand unter derselben, kann man sich zweier Wachskugeln bedienen, die durch einen kurzen Faden miteinander verbunden sind. Wenn man das Wachs, aus dem diese Kugeln gebildet werden, zuvor mit kleinen Mengen anderer passender Substanzen vermengt, kann man es leicht dahin bringen, dass die eine der beiden Kugeln eine geringere, die andere dagegen eine grössere Dichtigkeit als das Wasser besitzt, dass aber beide zusammen noch so in dem Wasser schwimmen können, dass die obere, leichtere etwas über die Oberfläche desselben hervorragt. Wenn diese Kugeln in ein ruhig stehendes Wasser getaucht werden, so stellt sich die eine so unter die andere, dass der sie verbindende Faden vertikal ist. Aber wenn man sie in die Mitte eines Kanals wirft, dessen Wasser in Bewegung ist, so werden sie in die Bewegung des Wassers mit hineingezogen, und man sieht nun, dass der Faden, welcher sie verbindet, nicht mehr vertikal bleibt (Fig. 435); die untere Kugel stellt sich etwas vor die obere. Es ist klar, dass diese Lage, welche die beiden Kugeln in diesem Wasser annehmen, nur davon herrühren kann, dass die Geschwindigkeit in geringem Abstand unter der Oberfläche etwas grösser ist als an dieser Oberfläche selbst.



Fig. 435.

Da nach dem Vorhergehenden die Geschwindigkeiten der Moleküle, welche zu gleicher Zeit durch ein und denselben Querschnitt des Kanals hindurch gehen, verschieden sind, so wird man unter der Geschwindigkeit des Wassers überhaupt eine mittlere Geschwindigkeit zu verstehen haben; in der That bezeichnet man damit die Geschwindigkeit, welche allen Molekülen zugleich zukommen müsste, damit die Wassermenge, welche in einer Secunde den betrachteten Querschnitt durchdringt, die nämliche Grösse behält (§. 317). Nach dieser Definition der Geschwindigkeit eines fliessenden Wassers ist es klar, dass man diese Geschwindigkeit, wenn sie bekannt ist, nur mit der Grösse des Querschnitts des Kanals multipliciren darf, um das Wasservolumen zu erhalten, welches in einer Secunde durch

diesen Querschnitt hindurchgeht. Man nennt dieses Wasservolumen kurz die Wassermenge des Kanals.

§. 328. Die Gleichförmigkeit der Bewegung jedes Flüssigkeitsmoleküls in dem Kanal erfordert, dass die Kräfte, welche an diesem Molekül wirken, im Gleichgewicht sind und folglich auch, dass sich die Kräfte, welche auf eine Flüssigkeitsscheibe, die zwischen zwei, einander sehr nahe gelegenen Querschnitten enthalten ist, wirken, das Gleichgewicht halten. Die Kräfte aber, welche auf eine solche Scheibe wirken, sind wieder von dreierlei Art (§. 318): 1) In dem Falle, wo die Sohle des Kanals im Sinne der Bewegung des Wassers geneigt ist, gibt das Gewicht der betrachteten Scheibe eine zu dieser Sohle parallele Componente, welche ihre Bewegung zu beschleunigen sucht; 2) die beiden ebenen Seitenflächen der Scheibe haben von Seite der benachbarten Flüssigkeit Drückungen zu erleiden; 3) die Flüssigkeitsscheibe erleidet einen Widerstand gegen ihre Bewegung, der von der Reibung herrührt, welche sich sowohl an den festen Wänden, welche das Wasser umschliessen, als durch die Berührung derselben mit der Luft entwickelt. Nun sind die Drückungen, welche die Scheibe auf ihren beiden Seitenflächen erfährt, offenbar einander gleich; denn da die Oberfläche des Wassers durchweg demselben Druck, dem der atmosphärischen Luft ausgesetzt ist, so müssen auch die Drückungen, welche in den, gleichtief unter der Oberfläche gelegenen Punkten der verschiedenen Querschnitte stattfinden, einander gleich sein, an welcher Stelle des Kanals diese Querschnitte auch gemacht werden mögen. Die Drückungen, welche auf die beiden Begrenzungsquerschnitte unserer Flüssigkeitsscheibe ausgeübt werden, heben sich also gegenseitig auf, und es bleiben folglich nur noch die beiden andern Kräfte übrig, die sich nothwendig ebenfalls im Gleichgewichte halten müssen. Die im Sinne der Bewegung wirkende Componente des Gewichtes der Flüssigkeitsscheibe muss folglich gleich den Widerständen sein, welche durch ihre Reibung an dem Bette des Kanals, sowie an der Luft hervorgebracht werden. Man sieht daraus, dass die Neigung der Kanalsohle nothwendig erforderlich ist, damit die Bewegung des Wassers eine regelmässige sei. Ferner ist die im Sinne der Bewegung wirkende Componente des Gewichtes einer Flüssigkeitsscheibe um so grösser, je stärker die Sohle des Kanals geneigt ist: die Geschwindigkeit des fliessenden Wassers vergrössert sich also mit dieser Neigung; und sie muss in der That so gross werden, dass die Reibung an den Wänden, welche mit dieser Geschwindigkeit wächst (§. 319), im Stande ist, jener Componente des Gewichts der Scheibe das Gleichgewicht zu halten. Der hiernach bestehende Zusammenhang zwischen der

Geschwindigkeit eines in einem Kanal von den oben vorausgesetzten Eigenschaften fliessenden Wassers, der Neigung der Sohle dieses Kanals und den zu überwindenden Widerständen wird nach den Eytelwein'schen Berechnungen der 91 Beobachtungen von Dubuat, Brünings, Funk und Woltmann durch die Formel

$$v = 50{,}9\sqrt{\frac{Fh}{pl}}$$

ausgedrückt. Darin bedeutet v die mittlere Geschwindigkeit des Wassers, F den Flächeninhalt des Querschnitts des Kanals und p die Länge des Umfangs dieses Querschnitts, soweit das Wasser mit dem Bette in Berührung ist, l die Länge des betrachteten regelmässigen Stückes des Kanals und h die Höhe, um welche sich auf diese Länge die Sohle oder die Oberfläche des Wassers senkt. Hiebei hat man p, h und l in Metern und F in Quadratmetern auszudrücken; das gefundene v gibt dann die Geschwindigkeit in Metern ausgedrückt. Der Coëfficient 50,9 ändert sich mit der Beschaffenheit des Bettes etwas.

§. 329. **Bewegung des Wassers in Flüssen.** — Die Bewegung des Wassers in einem Flusse ist ähnlich derjenigen, mit welcher wir uns so eben beschäftigt haben, nur ist sie nicht so regelmässig, da einerseits das Bett des Flusses nicht durchaus die nämliche Breite und Tiefe hat und andererseits seine Sohle nicht durchweg gleichstark geneigt ist. Nichtsdestoweniger kann man, wenn ein Stück des Flusses von gewisser Ausdehnung nicht zu grosse Unregelmässigkeiten enthält, die Bewegung des Wassers als dieselbe betrachten, wie sie in einem Kanal stattfindet, und Alles, was wir in Bezug auf die Bewegung des Wassers in einem solchen Kanal gesagt haben, kann auf diesen Theil des Flusses angewendet werden. Gewöhnlich vermehrt sich die Wassermenge eines Flusses von seiner Quelle bis zu seiner Mündung, sei es in Folge von Zuflüssen, welche sich in ihn ergiessen, sei es in Folge von Quellen, die in seinem Bette vorkommen. Untersuchen wir nun die Bewegung des Wassers in einem mehr oder weniger grossen Stück des Flusses, indem wir voraussetzen, dass die Quantität des Wassers, welches in einer Secunde durch irgend einen Querschnitt dieses Stückes hindurchfliesst, überall dieselbe ist, dass also dieser Theil des Flusses keinen Zufluss irgend einer Art empfängt. Wenn man den Lauf eines Flusses verfolgt, so findet man häufig, dass sich die Geschwindigkeit des Wassers von einer Stelle zur andern oft sehr bedeutend ändert; diese Aenderungen der Geschwindigkeiten sind aber stets von Aenderungen in den Dimensionen des Quer-

schnitts begleitet, sei es, indem der Fluss seine Breite oder seine Tiefe oder beide zugleich vergrössert oder verkleinert. In der That wissen wir, dass man, wenn man den Flächeninhalt eines Querschnitts, welcher durch die Flüssigkeit senkrecht auf die Richtung ihrer Bewegung gemacht wird, mit der mittleren Geschwindigkeit, welche diesem Querschnitt entspricht, multiplicirt, das Volumen der Flüssigkeit erhält, welche in jeder Secunde durch diesen Querschnitt fliesst (§. 327); und da dieses Volumen unserer Voraussetzung nach für alle Querschnitte, welche in dem Theil des Flusses, mit dem wir uns beschäftigen, gemacht werden können, dasselbe sein soll, so folgt, dass die Fläche eines solchen Querschnitts um so kleiner werden muss, je grösser die Geschwindigkeit in demselben ist. Demnach wird an solchen Stellen, wo der Fluss sehr breit und tief ist, das Wasser fast ruhig stehen bleiben, während es an engen und seichten Stellen des Flussbettes eine grosse Geschwindigkeit annehmen muss.

Denken wir uns nun zwei Flüssigkeitsscheiben von gleichem Volumen, deren jede zwischen zwei Querschnitten enthalten ist, die in geringen Entfernungen durch den Fluss gemacht worden sind. Nehmen wir an, dass die erste dieser Scheiben einer Stelle des Flusses entspreche, wo das Bett breit und tief ist, dass also die Geschwindigkeit dieser Scheibe nur gering sei; die zweite Scheibe dagegen entspreche einer Stelle, wo das Bett nur eine geringe Breite und Tiefe hat, sodass ihre Geschwindigkeit grösser als die der ersten ist. Aus der Bedingung, dass die Volumina der beiden Scheiben gleichgross sein müssen, folgt, dass die Entfernung der Querschnitte, durch welche die zweite Scheibe begrenzt wird, oder die Dicke dieser Scheibe, in dem nämlichen Verhältniss grösser sein muss als die Dicke der ersten, als die Querschnitte der zweiten Scheibe kleiner als die bei der ersten sind. Demnach wird man ohne Schwierigkeit einsehen, dass sich die zweite Scheibe an einer grösseren Fläche reibt als die erste. Ausserdem hat diese zweite Scheibe auch eine grössere Geschwindigkeit als die erste; es ist folglich aus diesem doppelten Grunde der durch die Reibung an den Ufern und der Sohle des Flussbettes hervorgebrachte Widerstand grösser für die zweite Scheibe als für die erste (§. 319). Dieser Widerstand muss aber bei jeder Scheibe durch die Componente ihres Gewichtes, die parallel zur Richtung der Bewegung ist, überwunden werden (§. 328); und da die Gewichte unserer beiden Scheiben gleichgross sind, so folgt, dass sich die Moleküle des Wassers in der zweiten Scheibe in einer stärker geneigten Linie bewegen müssen, als in der ersten, dass also die Neigung der

Wasseroberfläche an der Stelle, wo der zweite Querschnitt gemacht worden ist, grösser sein muss als an der, wo sich der erste befindet. Ueberall also, wo das Bett des Flusses breit und tief ist, wo also das Wasser nur eine geringe Geschwindigkeit besitzt, da ist die Oberfläche desselben fast horizontal, während an solchen Stellen, wo die Bewegung des Wassers in Folge von Verengungen des Querschnitts, sowohl der Breite als der Tiefe nach, immer rascher wird, die Oberfläche des Wassers eine viel deutlicher ausgesprochene Neigung zeigt.

§. 330. Zur Zeit eines Hochwassers ist die Geschwindigkeit des Wassers in dem Flusse bedeutend grösser als unter den gewöhnlichen Umständen. Um sich davon Rechenschaft zu geben, darf man nur zusehen, in welcher Weise sich die beiden Kräfte, die unter allen Umständen in jeder Flüssigkeitsscheibe, wie wir sie uns oben dachten, im Gleichgewicht sein müssen, ändern, wenn das Niveau des Flusses ein anderes wird. Setzen wir voraus, dass die Oberfläche des Wassers für gewöhnlich in AB (Fig. 436) sei, dass

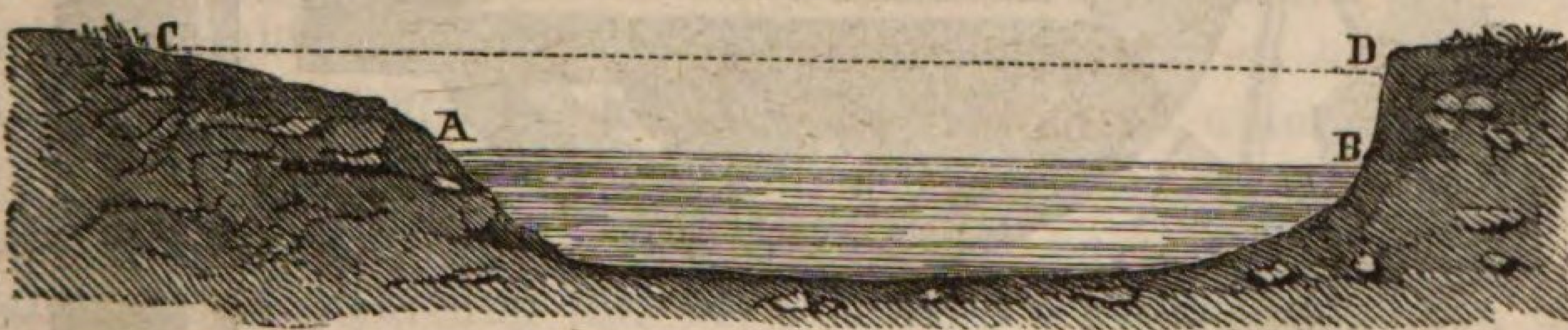


Fig. 436.

sie sich aber zur Zeit des Hochwassers bis CD erhebt, und dass dadurch der Flächeninhalt des Querschnitts durch die Flüssigkeitsmasse doppelt so gross als vorher wird. Dann ist offenbar die Flüssigkeitsmenge, welche zwischen zwei benachbarten Querschnitten gelegen ist, doppelt so gross zur Zeit des Hochwassers als gewöhnlich; aber die Oberfläche der Wände, welche von dieser Flüssigkeitsmasse berührt werden, hat nicht in demselben Verhältniss zugenommen. Wenn daher die Geschwindigkeit des Wassers dieselbe bliebe, so würde zwischen der Kraft, welche die Bewegung unserer Flüssigkeitsscheibe zu beschleunigen sucht, und dem Widerstand, welcher sich dieser Beschleunigung entgegensetzt, nicht mehr Gleichgewicht bestehen können, denn die erstere ist durch die Erhöhung des Niveau's verdoppelt worden, während der zweite nicht in demselben Verhältniss gewachsen ist. Es ist also nothwendig, dass sich die Geschwindigkeit des Wassers vergrössert, damit die Reibung des Wassers an den Wänden, mit denen es in Berührung ist, wieder gross genug wird, um der in der Richtung der Bewegung wirkenden Componente des Gewichtes das Gleichgewicht zu halten.

§. 331. **Messung der Geschwindigkeit des Wassers.** — Um die Geschwindigkeit, welche das Wasser eines Flusses in irgend einer Tiefe unter der Oberfläche besitzt, zu messen, bedient man sich am besten des Woltmann'schen Flügels (Fig. 437) — manch-

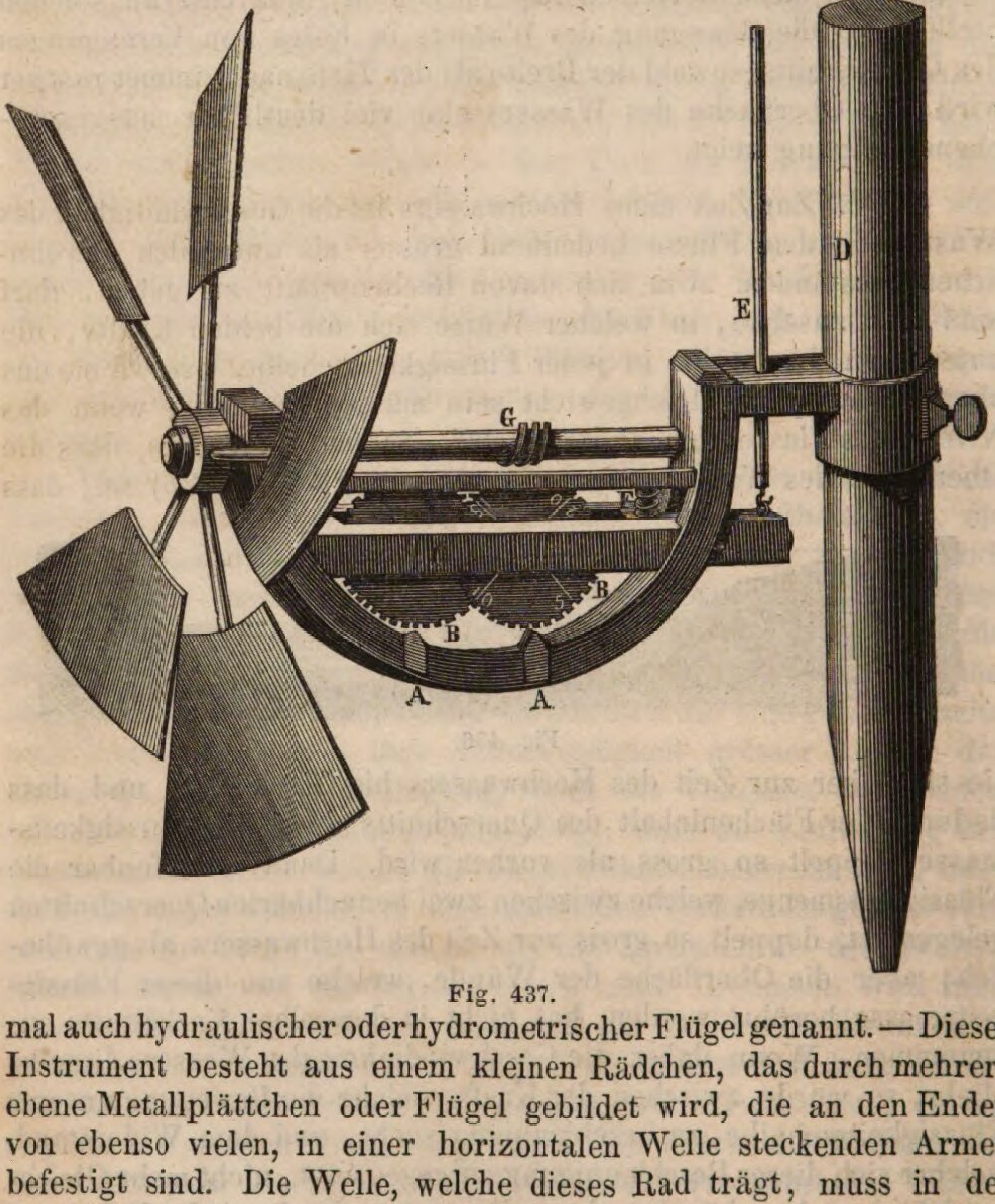


Fig. 437.

mal auch hydraulischer oder hydrometrischer Flügel genannt. — Dieses Instrument besteht aus einem kleinen Rädchen, das durch mehrere ebene Metallplättchen oder Flügel gebildet wird, die an den Enden von ebenso vielen, in einer horizontalen Welle steckenden Armen befestigt sind. Die Welle, welche dieses Rad trägt, muss in der Richtung der Bewegung des Wassers aufgestellt werden. Die Flügel sind so angeordnet, dass sie sich den Flüssigkeitsfäden, welche ihnen begegnen, in schiefer Richtung darbieten; der schiefe Stoss, den die Flügel in Folge dieser Anordnung von Seite des Wassers erhalten, erzeugt eine drehende Bewegung des Rades, welche offenbar um so schneller wird, je grösser die Geschwindigkeit des Wassers ist. Man begreift daraus, dass aus der Zahl der Umdreh-

ungen, welche das Flügelrädchen in einer gegebenen Zeit macht, die Geschwindigkeit des Wassers erhalten werden kann.

Das Instrument, welches in Fig. 437 in natürlicher Grösse dargestellt ist, ist so eingerichtet, dass es die Zahl der Umdrehungen der Welle, welche die Flügel trägt, leicht zu zählen gestattet. Zu diesem Behufe ist diese Welle mit einer Schraube ohne Ende G versehen. Unter dieser Schraube befindet sich ein Zahnrad, welches in sie eingreifen kann, für gewöhnlich aber gesenkt ist, sodass keine Verbindung zwischen ihm und der Schraube besteht. Zur Seite dieses ersten Rades befindet sich ein zweites, das durch ein, auf der Axe jenes ersten Rades befestigtes Trieb in Bewegung gesetzt wird und sich viel langsamer dreht als jenes. Die Axen dieser beiden Räder B, B werden durch einen Hebel C getragen, der um sein linkes Ende beweglich ist, und durch einen an seinem rechten Ende befestigten Stab E gehoben werden kann; mit ihm zugleich bewegen sich die Räder B, B, wodurch der Eingriff des einen von ihnen mit der Schraube ohne Ende hergestellt wird. Wenn man an dem Stab E nicht mehr nach aufwärts zieht, so senkt sich der Hebel C sowohl durch sein eigenes Gewicht, als unter der Wirkung einer Feder F, deren oberes Ende sich gegen das Gestell des Instruments stützt, herab; zugleich senken sich die Räder B, B, wodurch ihre Verbindung mit der Schraube wieder aufgehoben wird; bei dieser Senkung legen sich zwei kleine Vorsprünge A, A alsbald zwischen die Zähne der Räder B, B und verhindern deren weitere Drehung. Der ganze Apparat kann der Höhe nach an einer längeren vertikalen Stange D verschoben und mittelst einer Klemmschraube in jedem beliebigen Punkt derselben festgestellt werden.

Um den Flügel zu gebrauchen, befestigt man ihn so weit von dem Fusspunkte der Stange D, als die Höhe beträgt, in welcher die Geschwindigkeit des Wassers des Flusses über der Sohle desselben gemessen werden soll; hierauf stellt man die Stange in vertikaler Richtung so in das Wasser, dass ihr unteres Ende die Sohle berührt und sich sogar etwas in dieselbe einsenkt, und das Flügelrädchen vor die Stange, d. h. an die Seite derselben zu stehen kommt, welcher das Wasser zuerst begegnet. Nach Verfluss einer kurzen Zeit werden die Flügel unter der Einwirkung des Wassers eine gleichförmige Rotationsbewegung angenommen haben; alsdann zieht man den Stab E an und setzt so die Räder B, B in Verbindung mit der Welle des Flügels. Diese Verbindung lässt man eine gewisse Zeit, eine Minute z. B., hergestellt; dann lässt man den Stab E nach, die Räder senken sich wieder, und ihre Verbindung mit der sich fortdrehenden Welle der Flügel wird aufgehoben; zugleich aber

wird durch das Eindringen der Vorsprünge A, A zwischen ihre Zähne die Bewegung der Räder eingehalten. Man zieht nun das Instrument aus dem Wasser und vergleicht die Stellung, welche die Räder nun gegen die Vorsprünge A, A einnehmen mit der, welche sie vor dem Versuche inne hatten; diese Vergleichung ergibt offenbar die Zahl der Zähne, um welche sich das Rad zur Rechten während der Dauer des Experiments gedreht hat; diese Zahl ist aber zugleich die Anzahl der Umdrehungen, welche das Flügelrad in derselben Zeit machte, denn bei jeder Umdrehung der Welle des Flügelrades schreitet jenes Rad um einen Zahn fort.

Man wird ohne Schwierigkeit einsehen, dass die Zahl der Umdrehungen des Flügels in einer bestimmten Zeit proportional der Geschwindigkeit des Wassers sein muss: man darf also nur die Zahl der Umdrehungen kennen, welche der Flügel bei einer bestimmten Geschwindigkeit des Wassers in einer bestimmten Zeit vollführt, um in jedem andern Fall aus der vom Instrument angegebenen Zahl der Umdrehungen, die während der Dauer des Versuchs gemacht worden sind, die Geschwindigkeit des fliessenden Wassers berechnen zu können. Wenn man z. B. weiss, dass der Flügel in der Secunde 8 Umdrehungen macht, wenn die Geschwindigkeit das Wasser 1^m in der Secunde ist, und es wurde bei einem Versuch gefunden, dass der Flügel 20 Umdrehungen in der Secunde machte, so folgt daraus, dass die Geschwindigkeit des Wassers, welches ihn in Bewegung setzte, $2^m,5$ in der Secunde war.

Die Schnelligkeit, mit welcher sich die Flügelwelle des Instruments unter der Einwirkung eines fliessenden Wassers, dessen Geschwindigkeit 1^m in der Secunde beträgt, dreht, hängt von den Dimensionen dieses Instruments und von der Stellung seiner Flügel ab. Sie wird bestimmt, indem man das Instrument entweder in ein fliessendes Wasser taucht, dessen Geschwindigkeit bekannt ist, oder indem man es in ruhig stehendem Wasser um eine gewisse Strecke fortbewegt.

§. 332. Mittelst des Woltmann'schen Flügels kann die Geschwindigkeit des Wassers in einem Flusse in irgend einer Tiefe unter der Oberfläche desselben gemessen werden. Aber wenn man sich damit begnügen will, die Geschwindigkeit an der Oberfläche selbst zu messen, so kann man ein einfacheres Mittel anwenden. Man darf dann nur einen Körper nehmen, der auf dem Wasser schwimmt, und dessen Bewegung man leicht beobachten kann. Doch muss man dafür sorgen, dass der Körper fast gar nicht aus dem Wasser hervorsieht, damit seine Bewegung nicht durch den Widerstand der Luft

verzögert wird; wenn dann ausserdem noch die Masse des Körpers nur gering ist, so kann man sicher sein, dass er sehr nahezu dieselbe Geschwindigkeit besitzt, wie das Wasser selbst. Ein solcher Körper, der die oben bezeichneten Bedingungen in hohem Grade erfüllt, ist eine Oblate, und man bedient sich daher einer solchen mit grossem Vortheil zu dem angegebenen Zweck.

Wenn das Bett des fliessenden Wassers auf eine gewisse Länge hin regelmässig ist, so wird der Schwimmer auf dieser ganzen Länge eine gleichförmige Bewegung haben, und man darf also nur die Zahl der Secunden bestimmen, welche er braucht, um eine gewisse bekannte Entfernung zurückzulegen, um seine Geschwindigkeit zu erhalten. Zu dem Ende wird man quer über den Fluss, senkrecht auf seine Axe, zwei gerade Linien ausstecken, was entweder mittels zweier Visirstäbchen für jede Linie oder durch sonst irgend ein Mittel geschehen kann. Man misst die Entfernung dieser beiden Linien von einander und beobachtet alsdann die zwei Zeitpunkte, wo der Schwimmer, den man etwas weiter oben in den Fluss geworfen hat, die Richtung jeder von diesen beiden Linien passirt. Wenn man hiebei keine Secundenuhr zur Verfügung hat, so kann man sich auch, wie wir schon oben (§. 114) angegeben haben, eines einfachen Secundenpendels bedienen.

§. 333. Um die mittlere Geschwindigkeit eines fliessenden Wassers, wie wir sie oben (§. 327) definirt haben, zu finden (also die Geschwindigkeit, welche die ganze Flüssigkeitsmasse haben müsste, wenn sie sich wie ein Stück bewegen und die Wassermenge des fliessenden Wassers doch dieselbe bleiben sollte), kann man verschiedene Mittel anwenden. Wir begnügen uns hier, das einfachste anzugeben, welches darin besteht, dass man die mittlere Geschwindigkeit des fliessenden Wassers aus der Geschwindigkeit an der Oberfläche desselben, die man mittelst eines Schwimmers beobachtet hat, ableitet. Man kann sich zu diesem Zwecke der folgenden Tabelle bedienen, welche für verschiedene Werthe der Geschwindigkeit an der Oberfläche die entsprechende mittlere Geschwindigkeit gibt. Diese Tabelle ist aus den Versuchen von Dubuat berechnet, und obwohl diese Versuche nur im Kleinen angestellt worden sind, so hat man doch gefunden, dass die Resultate, welche sie ergaben, ohne grossen Fehler zu der Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit grösserer fliessender Gewässer angewandt werden können.

Geschwindigkeit an der Oberfläche.	Mittlere Geschwindigkeit.	Geschwindigkeit an der Oberfläche.	Mittlere Geschwindigkeit.
m	m	m	m
0,20	0,15	2,20	1,88
0,40	0,31	2,40	2,06
0,60	0,47	2,60	2,25
0,80	0,64	2,80	2,43
1,00	0,81	3,00	2,62
1,20	0,98	3,20	2,81
1,40	1,16	3,40	3,00
1,60	1,34	3,60	3,18
1.80	1,52	3,80	3,37
2,00	1,70	4,00	3,56

Die Geschwindigkeit der Seine in der Nähe von Paris ist $0^m,60$ bis $0^m,65$. Die Geschwindigkeiten der Rhone und des Rheins sind ungefähr 2^m und erheben sich, bei starkem Hochwasser, auf 4^m in der Secunde.

§. 334. **Aichen eines fliessenden Wassers.** — Das einfachste Mittel, ein fliessendes Wasser zu aichen, d. h. die Wassermenge zu bestimmen, die es in einer Secunde liefert, besteht darin, dass man den Flächeninhalt des Querschnitts der Flüssigkeitsmasse mit der mittleren Geschwindigkeit, welche sie in der Nähe dieses Querschnitts besitzt, multiplicirt (§. 327).

Wie man die bei diesem Verfahren nöthige Geschwindigkeit misst, haben wir so eben gesehen. Was die Bestimmung der Grösse des Querschnitts des fliessenden Wassers anbelangt, so kann dieselbe ohne Schwierigkeit erhalten werden, wenn man die Tiefe des Wassers an mehreren Punkten, die in einer zur Bewegungsrichtung des Wassers senkrechten Linie gelegene sind, misst. Wenn man dabei findet, dass die Tiefe nach der ganzen Breite eines fliessenden Wassers, dessen Ufer vertikal abfallen, die nämliche ist, so schliesst man daraus, dass der Querschnitt des Wassers die Form eines Rechtecks hat; man findet daher seine Grösse, indem man die Breite des Flusses mit der Tiefe des Wassers multiplicirt. Wenn man dagegen, wie es im Allgemeinen der Fall sein wird, verschiedene Tiefen erhält, je nachdem man sich mehr oder weniger von den Ufern entfernt, so misst man diese Tiefen über die ganze Breite des Flusses in Punkten, die alle gleichweit, z. B. um einen Meter, von einander abstehen. Man betrachtet alsdann den Theil des Querschnitts,

der zwischen zwei aufeinanderfolgenden Tiefen, die man gemessen hat, enthalten ist, als ein Trapez, dessen parallele Seiten eben jene Tiefen sind, und dessen Höhe die horizontale Entfernung der Punkte ist, wo diese Tiefen genommen wurden. Indem man die Flächeninhalte dieser verschiedenen Trapeze addirt, erhält man die Grösse des ganzen Querschnitts.

Wenn man z. B. findet, dass ein fliessendes Wasser, dessen Breite 8^m beträgt, durchweg $1^m,6$ tief ist, so wird man daraus schliessen, dass die Grösse seines Querschnitts 12,8 Quadratmeter ist; wenn sich folglich das Wasser mit einer mittleren Geschwindigkeit von $1^m,5$ in der Secunde bewegt, so ist die in einer Secunde gelieferte Wassermenge 19,2 Cubikmeter.

Ein fliessendes Wasser wird gewöhnlich Fluss genannt, wenn seine Wassermenge in gewöhnlichen Umständen nicht unter 10 bis 12 Cubikmeter in der Secunde beträgt. Wenn sich die Wassermenge auf 30 bis 40 Cubikmeter erhebt, so wird der Fluss gewöhnlich schiffbar. Wenn die Wassermenge 100 Cubikmeter überschreitet, so rechnet man das fliessende Wasser zur Klasse der Ströme. So liefert unter gewöhnlichen Umständen die Seine bei Paris ungefähr 130, die Garonne bei Toulouse 150 und die Rhone bei Lyon mehr als 600 Cubikmeter Wasser in der Secunde. Ausserdem ändert sich die Wassermenge eines fliessenden Wassers von einer Zeit zur anderen. So hat man die Wassermenge der Rhone bei Lyon schon bis auf 200 Cubikmeter herabgehen sehen, während sie sich am 12. Februar 1815 auf 5770 Cubikmeter erhob.

§. 335. Um die Wassermenge eines kleinen fliessenden Wassers, eines Baches oder eines Mühlgerinnes z. B., direkt durch den Versuch zu bestimmen, kann man sich zweier Mittel bedienen. Das erste besteht darin, dass man quer über die ganze Breite des fliessenden Wassers einen Damm, ein sogenanntes Wehr baut, wenn ein solches nicht schon zu anderen Zwecken, wie z. B. um das Wasser flussaufwärts aufzustauen, vorhanden ist. Dadurch wird ein sogenannter Ueberfall herbeigeführt, wie er z. B. in Fig. 422, Seite 558 abgebildet ist. Die Wassermenge, welche über einen solchen Ueberfall fliesst, ist offenbar gleich der Wassermenge des fliessenden Wassers; die letztere kann daher ganz nach der in §. 310 gegebenen Regel bestimmt werden.

Das zweite Mittel besteht darin, dass man sich der Schützen bedient, die in dem Falle, wo das fliessende Wasser als Motor, zur Bewegung eines Wasserrades dienen soll, immer vorhanden sind. Diese Schützen bestehen, wie bekannt, aus rechteckigen, vertikalen oder schiefen Wänden, welche quer in das fliessende Wasser

gestellt sind, um dasselbe in seiner Bewegung zu hemmen, und welche man mehr oder weniger aufziehen kann, um das Wasser unter ihnen durch die sich bildende gleichfalls rechteckige Oeffnung ausfliessen zu lassen. Wenn man keine solche Schütze zur Verfügung hat, so führt man durch das Gerinn oder den Mühlkanal eine Querwand mit rechteckiger Oeffnung F (Fig. 420, S. 556), oder man dämmt den Bach durch einen aus Pfählen und Brettern bestehenden Einbau AB (Fig. 438) ein und lässt das Wasser durch eine in demselben angebrachte Oeffnung C abfliessen. In allen diesen Fällen ist die Wassermenge, welche durch die rechteckige Oeffnung fliesst, gleich der Wassermenge des fliessenden Gewässers, und letztere kann daher nach den Regeln, die in den §§. 307 bis 309 aufgestellt wurden, berechnet werden.

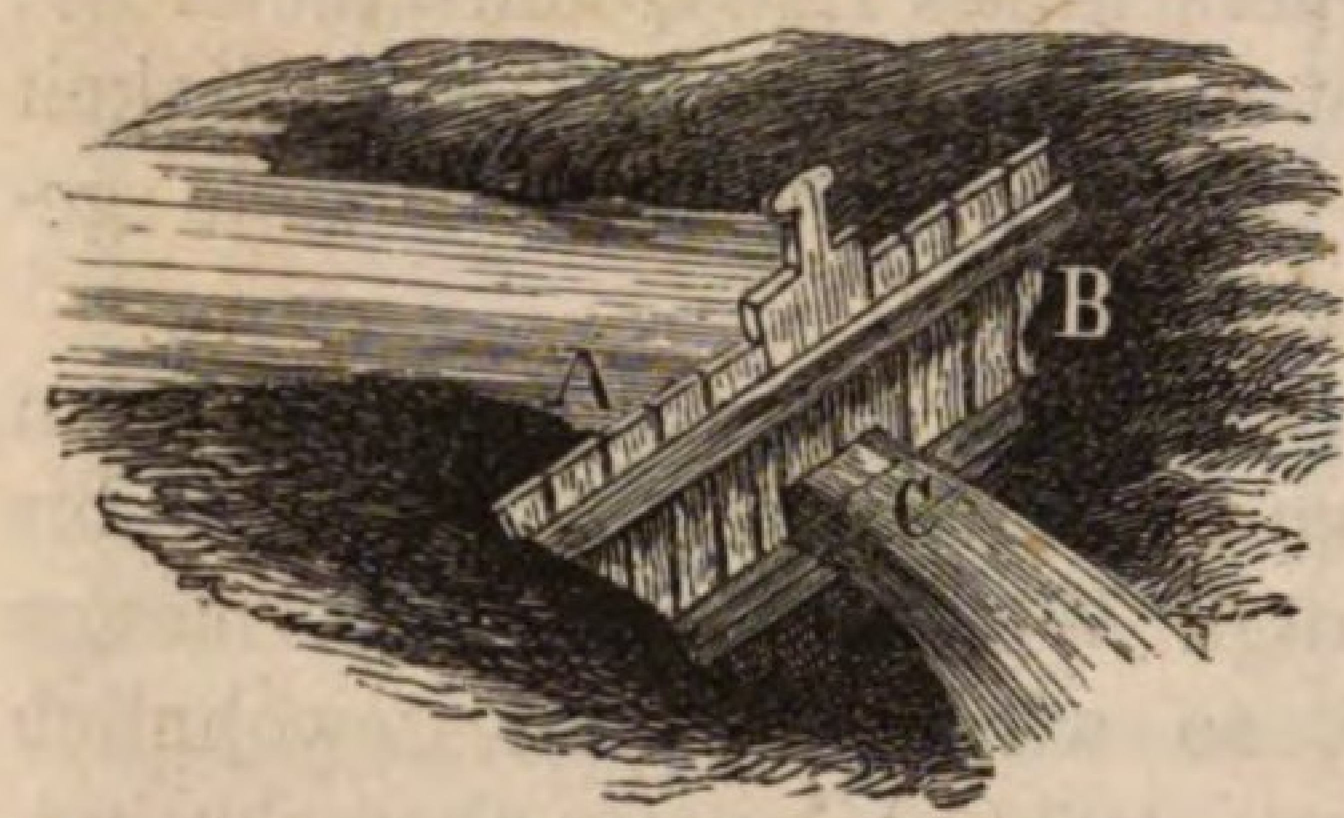


Fig. 438.

§. 336. **Ausfluss eines Gases durch eine Oeffnung.** — Wenn ein Gas in einem allseitig geschlossenen Gefäss enthalten ist, und man bringt in der Wand dieses Gefässes eine kleine Oeffnung an, so sucht das Gas in Folge seiner Spannkraft aus dieser auszutreten. Wenn der Raum, welcher das Gefäss von aussen in der Nachbarschaft der Oeffnung umgibt, selbst ein Gas enthält, welches die nämliche Spannkraft besitzt wie das im Gefäss, so ist klar dass das letztere nicht ausströmen kann; es wird durch den Widerstand des äusseren Gases im Gefäss zurückgehalten, ebenso als wenn gar keine Oeffnung in die Gefässwand gemacht worden wäre. Diess ist z. B. der Fall, wenn eine Gasmasse unter dem Drucke einer Atmosphäre in ein Gefäss eingeschlossen ist, das sich selbst inmitten der atmosphärischen Luft befindet. Wenn aber der Raum, in welchen sich das innere Gas, indem es bei der ihm dargebotenen Oeffnung austritt, ergiessen kann, vollkommen leer ist, oder auch schon, wenn er ein Gas von geringerer Spannkraft als diejenige des inneren Gases ist, enthält, so wird das im Gefäss enthaltene Gas durch die Oeffnung ausströmen. Dieser Ausfluss wird mit um so grösserer Geschwindigkeit stattfinden, je grösser der Ueberschuss der Spannkraft im Innern über die Spannkraft aussen ist.

Um die Ausflussgeschwindigkeit eines Gases durch eine Oeffnung, welche wir zunächst in dünner Wand voraussetzen, zu finden, können wir dieses Gas mit einer Flüssigkeit vergleichen. Denken wir uns zu diesem Behuf, dass eine Flüssigkeit dieselbe Dichtigkeit

wie das ausströmende Gas habe, diese Dichtigkeit im Innern des Gefässes, welches das Gas enthält, im Niveau der Ausflussöffnung genommen; denken wir uns ferner, dass eine solche Flüssigkeit in ein oben offenes Gefäss bis zu einer solchen Höhe gefüllt würde, dass der Druck, welcher aus dieser Höhe im Niveau der Oeffnung, durch welche der Ausfluss geschieht, hervorgeht, gleich dem Ueberschuss des Druckes des inneren über den des äusseren Gases sei. Da diese Flüssigkeit dieselbe Dichtigkeit wie unser Gas in der Nähe der Ausflussöffnung hat, und da sie an dieser Oeffnung dem nämlichen Druck ausgesetzt ist, so ist klar, dass sie mit derselben Geschwindigkeit ausströmen muss wie das Gas. Aber die Geschwindigkeit, welche die Flüssigkeit annimmt, ist diejenige, welche der Höhe seiner freien Oberfläche im Gefäss über der Oeffnung entspricht (§. 98); mit derselben Geschwindigkeit strömt auch das Gas aus.

Die Anwendung des Vorhergehenden auf ein besonderes Beispiel wird zeigen, wie die Ausflussgeschwindigkeit eines Gases in jedem Fall bestimmt werden kann. Nehmen wir an, dass in einem geschlossenen Gefäss atmosphärische Luft enthalten sei, deren Spannkraft durch eine Quecksilbersäule von $0^m,77$ Höhe gemessen wird. Diese Luft habe die Temperatur von 0^0, und der Druck der äusseren atmosphärischen Luft, welche das Gefäss umgibt, sei $0^m,76$. Wenn man an dem Gefäss, in einer dünnen Wand, eine Oeffnung anbringt, so wird die innere Luft in Folge des Ueberschusses des inneren Druckes über den äusseren, welcher Ueberschuss durch eine Quecksilbersäule von $0^m,01$ Höhe gemessen wird, ausströmen. Die Dichtigkeit der Luft bei der Temperatur 0^0 und unter einem Drucke von $0^m,76$ ist 770mal kleiner als diejenige des Wassers und folglich 10472mal kleiner als die des Quecksilbers. Da die Luft, welche wir hier zu betrachten haben, unter einem Drucke von $0^m,77$ steht, so ist ihre Dichtigkeit etwas grösser; nach dem Mariotte'schen Gesetz (§. 266) ist diese Dichtigkeit blos 10336mal kleiner als die des Quecksilbers. Damit eine Flüssigkeit von derselben Dichtigkeit, wenn sie in einem oben offenen Gefäss enthalten ist, im Niveau der Ausflussöffnung einen Druck von $0^m,01$ Quecksilberhöhe ausübt, muss ihre freie Oberfläche $103^m,36$ über dieser Oeffnung gelegen sein. Ihre Ausflussgeschwindigkeit beträgt also 45^m in der Secunde, und diess ist zu gleicher Zeit die Ausflussgeschwindigkeit der Luft, welche wir betrachten.

Man sieht aus diesem Beispiel, dass schon ein sehr geringer Ueberdruck eine sehr bedeutende Ausflussgeschwindigkeit hervorbringt. Es ist diess daraus zu erklären, dass die Masse des Gases,

welches durch diesen Ueberdruck in Bewegung gesetzt wird, nur sehr klein ist (§. 105). Ebenso sieht man, dass für ein und den nämlichen Ueberdruck von innen nach aussen die Ausflussgeschwindigkeit mit der Natur des Gases sowohl als mit dessen Temperatur wechselt: denn diese Geschwindigkeit hängt von der Dichtigkeit ab, welche das Gas vor seinem Austritt aus dem Gefäss, welches es enthält, besitzt.

§. 337. Die Menge des Gases, welche in einer bestimmten Zeit durch die Oeffnung strömt, kann ebenso wie bei den Flüssigkeiten (§. 301) erhalten werden. Angenommen, dass die Gasmoleküle die Oeffnung in einer Richtung senkrecht auf die Fläche dieser Oeffnung durchdringen, so ist klar dass man das Volumen des in einer Secunde ausströmenden Gases erhält, indem man die Fläche der Oeffnung mit der Ausflussgeschwindigkeit multiplicirt. Das so erhaltene Volumen ist dasjenige, welches das Gas nach seinem Austritt aus der Oeffnung einnehmen würde, wenn es dieselbe Dichtigkeit wie im Innern des Gefässes behielte. Da sich aber das Gas, indem es aus der Oeffnung tritt, in Folge der Verringerung des Druckes, dem es ausgesetzt ist, ausdehnt, so folgt daraus, dass man das oben gefundene Volumen in demselben Verhältniss vermehren muss, als sich die Spannkraft des Gases bei seinem Austritt vermindert, um das Volumen zu erhalten, welches das Gas nach seinem Austritt in Wirklichkeit einnimmt.

Wenn man die Menge des Gases, welches in einer Secunde durch eine Oeffnung in dünner Wand ausströmt, durch den Versuch bestimmt, findet man, dass sie bedeutend geringer ist als diejenige, welche wir durch die vorhergehenden Betrachtungen gefunden haben: Die wirkliche Ausflussmenge ist nur 0,65 der theoretischen. Dieser Unterschied zwischen dem Resultate der Theorie und dem des Versuchs rührt auch hier davon her, dass wir einen Fehler begingen, indem wir annahmen, dass die Gasmoleküle die Oeffnung senkrecht auf ihre Fläche durchdringen. Der Gasstrahl erleidet nach seinem Austritt aus der Oeffnung ebenso eine Zusammenziehung wie ein Flüssigkeitsstrahl (§. 301). Davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man die im Gefäss enthaltene Luft mit Rauch vermengt; der austretende Strahl wird dann sichtbar, und es kann also seine Gestalt leicht beobachtet werden. Die Zusammenziehung des Gasstrahls ist unter denselben Verhältnissen etwas geringer als diejenige, welche ein Flüssigkeitsstrahl erleidet, weil die wirkliche Ausflussmenge im Falle eines Gases 0,65, im Falle einer Flüssigkeit nur 0,62 der theoretischen beträgt.

Wenn man an der Oeffnung, durch welche ein Gas ausströmt, ein Ansatzröhrchen anbringt, so werden dadurch die Verhältnisse, unter denen der Ausfluss stattfindet, bedeutend modificirt; diese Aenderungen erklären sich genau auf dieselbe Weise wie bei den Flüssigkeiten (§. 304). Mit einem cylindrischen Ansatzröhrchen erhält man eine wirkliche Ausflussmenge, welche 0,93 der theoretischen ist. Wenn man ein schwach conisches und convergentes Ansatzröhrchen anwendet, so erhebt sich die wirkliche Ausflussmenge auf 0,94 der theoretischen, letztere mit Zugrundelegung der Ausmündung des Ansatzröhrchens berechnet.

§. 338. **Bewegung der Gase in Röhren.** — Wenn sich ein Gas im Innern einer Röhre bewegt, so erfährt es von Seite der Wände derselben einen Widerstand ähnlich demjenigen, von dem wir bei den Flüssigkeiten gesprochen haben (§. 316). Dieser Widerstand ist proportional der Grösse der Wandfläche, an welcher das Gas gleitet. Er ändert sich ausserdem mit der Geschwindigkeit des Gases, aber er kann hier, unähnlich Dem, was bei den Flüssigkeiten stattfindet, als proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit des Gases betrachtet werden. Dieses Gesetz, welches den Zusammenhang zwischen dem Widerstande der Röhrenwände und der Geschwindigkeit des Gases ausdrückt, hat sich für alle die Geschwindigkeiten, von 3^m bis 50^m in der Secunde, welche die Gase gewöhnlich in den Leitungsröhren annehmen, bestätigt.

Durch Kniee, sowie durch Verengungen in den Röhren, welche ein Gas durchströmt, wird ein bedeutender Widerstand gegen die Bewegung des Gases hervorgebracht. Um solche Widerstände absichtlich hervorbringen und dadurch die Geschwindigkeit des Gases mässigen zu können, bringt man in den Rauchrohren der Oefen eine Klappe oder ein Drosselventil, wie es in Fig. 433 (Seite 580) dargestellt ist, in anderen Gasleitungsröhren einen Hahn (Fig. 432, Seite 579) an, u. s. f.

§. 339. Das Gas, welches in den Städten zur Beleuchtung gebraucht wird (Leuchtgas), wird zuerst in ein grosses Reservoir geleitet, welches Gasometer genannt wird, und von welchem aus es zu den verschiedenen Brennern gelangt, indem es eine Röhrenleitung durchströmt, die unter dem Pflaster der Strassen angebracht ist. Ein solcher Gasometer besteht aus nichts weiter als aus einer Glocke von Eisen- oder Kupferblech, welche in ein grosses Bassin, das mit Wasser gefüllt ist, eintaucht (Fig. 439). Das Gas wird von dem Orte, wo es bereitet wird, durch eine Röhre, welche in das Bassin eintritt und sich vertikal in demselben erhebt, bis sich ihre Mündung über dem Niveau, welches das Wasser erreichen kann,

befindet, unter die Glocke geleitet. Aus dieser aber kann es nirgends entweichen: seitwärts und von oben ist es von den cylindrischen

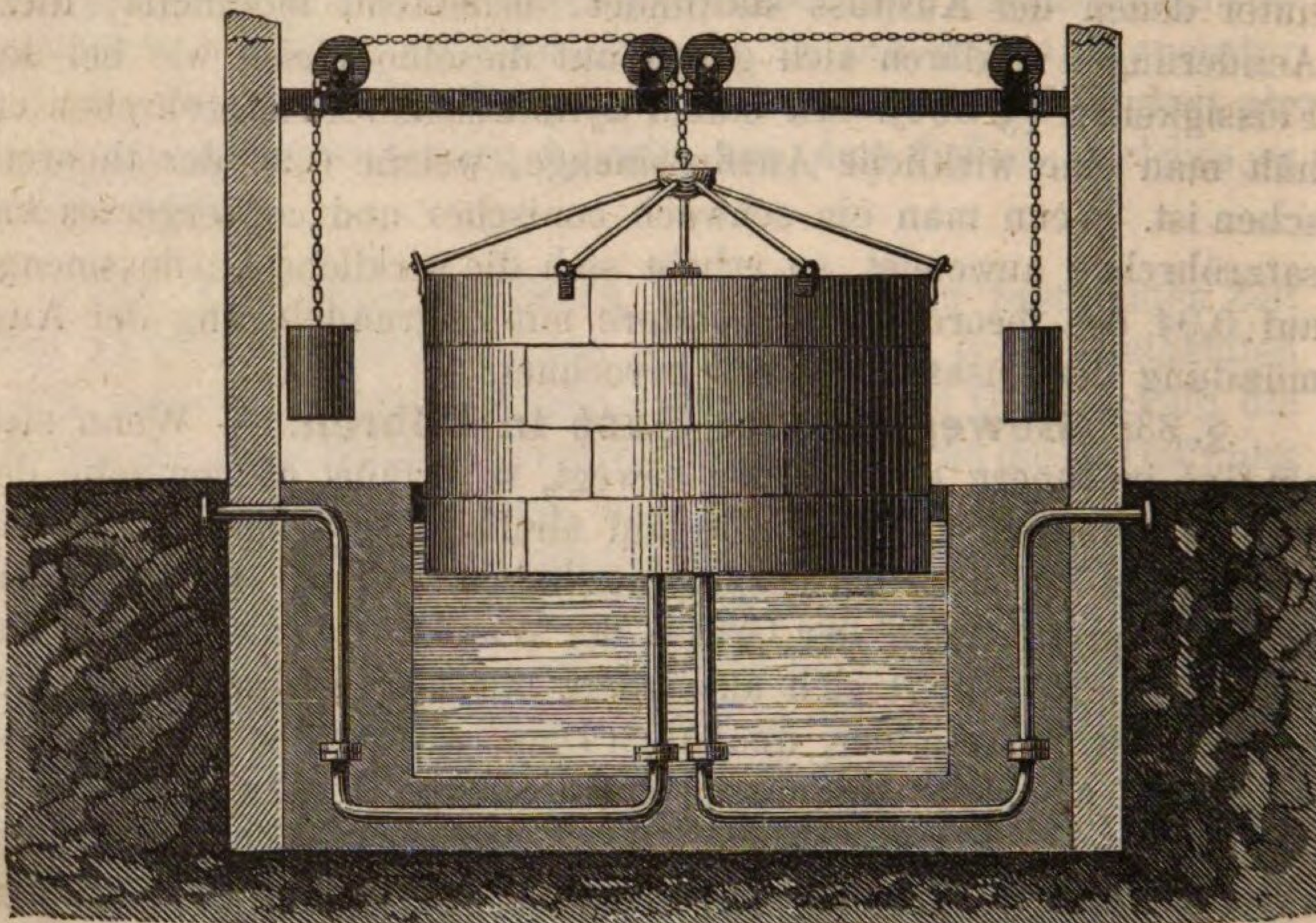


Fig. 439.

Wänden und dem Deckel der Glocke eingeschlossen, unten aber von dem Wasser des Bassin's, mit welchem es in Berührung steht. Das Gewicht der Glocke ist zum grössten Theil durch Ketten, welche, an ihrem obersten Theil befestigt, über Leitrollen gehen und sich in Gegengewichten endigen, im Gleichgewicht gehalten. Der übrige Theil des Gewichtes der Glocke übt einen Druck auf das eingeschlossene Gas aus, welches seinerseits wieder in Folge der erhöhten Spannkraft, die ihm dadurch gegeben wird, gegen die Glocke drückt und sie vollends in's Gleichgewicht setzt. Zugleich drückt es aber auch auf das Wasser des Bassin's, sodass dieses etwas aus der Glocke getrieben wird und sich ausserhalb der Glocke etwas höher stellt als in derselben. Der Druck welcher aus diesem Niveauunterschiede entspringt, muss offenbar gleich dem Ueberschuss des Druckes des Gases im Gasometer über den der atmosphärischen Luft sein. (Der Druck der atmosphärischen Luft, den die Glocke von aussen zu erleiden hat, und der, welcher auf der freien Oberfläche des Wassers im Bassin lastet, heben sich gegenseitig auf.)

Die Gegengewichte, welche einem Theil des Gewichtes der Glocke das Gleichgewicht halten, sind so bestimmt, dass der Niveauunterschied des Wassers im Bassin innerhalb und ausserhalb der Glocke nicht mehr als einige Centimeter beträgt. Der dadurch gemessene

Ueberdruck des Gases im Gasometer nöthigt dasselbe durch eine zweite Röhre, welche ganz so wie die erste, durch welche das Gas eingeleitet wird. im Innern der Glocke angebracht ist, aus dem Gasometer auszutreten. Von dieser Röhre aus vertheilt es sich in die verschiedenen Zweige der Leitung, in welchen es zu den Oeffnungen geleitet wird, bei denen es, brennend, ausströmen soll. Der Ueberschuss des Druckes des Gases im Gasometer über den der atmosphärischen Luft, so gering er auch ist, würde dennoch an den Brennern eine grosse Ausflussgeschwindigkeit hervorbringen, wenn nicht die Röhren der Bewegung des Gases einen grossen Widerstand entgegensetzen würden; so aber wird jener Ueberdruck fast gänzlich zur Ueberwindung dieser Widerstände angewandt, und die Ausflussgeschwindigkeit rührt nur noch von einem sehr geringen Theil dieses Ueberdruckes her, der, nachdem die Reibung an den Röhrenwänden überwunden ist, noch disponibel bleibt. Um die Geschwindigkeit, mit welcher das Gas aus dem Brenner strömt, nach Belieben reguliren zu können, ist kurz vor demselben in der Leitungsröhre ein Hahn angebracht. Je nachdem dieser Hahn im passenden Sinn mehr oder weniger gedreht wird, bringt man eine grössere oder geringere Verengung hervor, welche, indem sie die Widerstände, die sich der Bewegung des Gases entgegenstellen, vermehrt, die Geschwindigkeit desselben vermindert.

§. 340. **Messung der Geschwindigkeit eines Luftstroms.** — Wir haben oben (§. 278) in Kürze die Hauptursachen angegeben, welche die Bewegungen der atmosphärischen Luft, die man Winde nennt, hervorrufen. Wir haben alsdann (§§. 279 u. 280) gesehen, wie Unterschiede in der Temperatur Luftströmungen im Innern der Bergwerke wie in den Schornsteinen erzeugen. In anderen Fällen wird die Luft durch besondere Maschinen, mit denen wir uns später beschäftigen werden, in Bewegung gesetzt. Es ist häufig nothwendig, die Geschwindigkeit eines solchen Luftstromes, auf welche Art er auch entstanden sein mag, zu messen. Man bedient sich zu diesem Zwecke des Anemometers oder Windmessers von Combes. Diess ist ein dem Woltmann'schen Flügel, der in Fig. 437 (Seite 594) abgebildet ist, ganz ähnliches Instrument, welches sehr leicht construirt und dem speziellen Gebrauch, zu welchem es gehört, angepasst ist. Die Anwendung des Instruments ist übrigens ganz ähnlich wie bei dem Woltmann'schen Flügel.

Die folgende Tabelle gibt die Geschwindigkeit, welche die Luftmoleküle bei den verschiedenen Arten der Winde besitzen.

Bezeichnung des Windes.	Geschwindigkeit in der Secunde.
Gerade noch fühlbarer Wind	1m
Schwacher Wind	2
Frischer Wind, frische Brise (die Segel gut gespannt)	6
Günstigster Wind für die Windmühlen . .	7
Lebhafter Wind, sehr geeignet für die Bewegung der Schiffe auf dem Meere . .	7
Sehr lebhafter Wind (die grossen Segel werden eingezogen)	12
Sehr starker Wind	15
Heftiger Wind	20
Grosser Sturm	27
Orkan	36
Starker Orkan, der Gebäude umreissen kann	45

§. 341. **Druck eines Flüssigkeitsstrahls gegen eine Fläche.** — Wenn ein Flüssigkeitsstrahl einer Fläche AB (Fig. 440) begegnet, welche sich der Fortsetzung seiner Bewegung entgegensetzt, so breitet er sich auf dieser Fläche aus, und diese hat einen gewissen Druck von ihm auszuhalten. Nehmen wir zunächst an, dass es sich um eine ebene Fläche handle, die senkrecht zur Richtung des Strahls gestellt ist. Die Grösse dieser Fläche ist offenbar von Einfluss auf die Grösse des Druckes, welchen sie erfährt. Man begreift leicht, dass dieser Druck, der allein von der Gegenwirkung der Flüssigkeitsfäden herrührt, welche gezwungen werden, ihre Richtung plötzlich zu ändern, um so grösser sein muss, je grösser die Aenderung ist, welche die Bewegung dieser

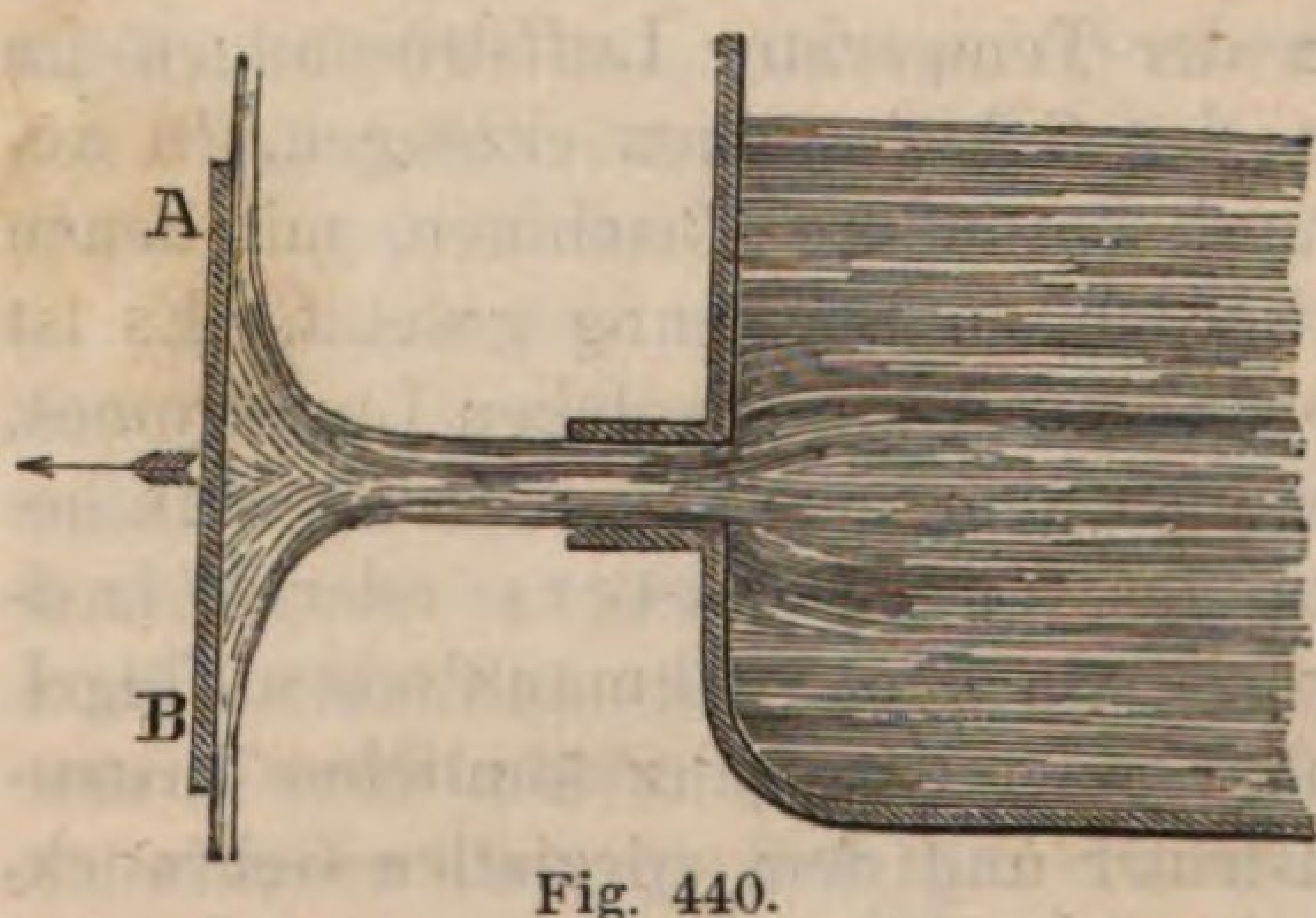


Fig. 440.

Flüssigkeitsfäden zu erleiden hat. Wenn die Fläche, gegen welche die Flüssigkeit trifft, nicht breiter als der Strahl selbst ist, so werden sich die Flüssigkeitsfäden wohl krümmen müssen, um um diese Fläche herum zu kommen, aber ihre Richtung wird nicht so viel geändert werden, als es geschieht, wenn die Fläche grösser ist. In dem Maasse als diese Fläche wächst, nähern sich die Richtungen der Flüssigkeitsfäden, welche rings herum über ihre Ränder hinwegströmen, der Lage, wo sie parallel zu der Fläche selbst sind; und es ist klar, dass man erst dann, wenn dieser Parallelismus vollständig erreicht ist, das Maximum des Druckes erhält, den der Strahl gegen diese Fläche ausüben kann. Der Versuch hat gezeigt, dass dieser Fall erst dann eintritt, wenn die Fläche, gegen welche der Strahl stösst, 6 bis 8 mal so gross ist als der Querschnitt dieses Strahls.

Indem man den Druck, welcher gegen die Fläche ausgeübt wird, gemessen hat, was mittelst einer Feder, gegen welche sich diese Fläche stützt, leicht geschehen kann, hat man gefunden, dass derselbe durch das Gewicht eines Flüssigkeitscylinders dargestellt wird, der zur Basis den Querschnitt des Strahls und zur Länge die doppelte Druckhöhe hat, welche der Geschwindigkeit der Moleküle des Flüssigkeitsstrahls entspricht (§. 98). Es ist nicht schwer, sich von der Richtigkeit dieses Resultats auch auf theoretischem Wege Ueberzeugung zu verschaffen. Das Volumen der Flüssigkeitsmasse, welche während einer Secunde gegen die Fläche anstösst, ist offenbar gleich dem Produkte aus dem Querschnitte des Strahls in die Geschwindigkeit desselben; die Masse dieser Flüssigkeitsmenge erhält man folglich, wenn man ihr Volumen mit dem Gewichte der Cubikeinheit der Flüssigkeit multiplicirt, und durch die Beschleunigung der Schwere dividirt. Diese Masse, multiplicirt mit der Geschwindigkeit des Strahls, gibt die Bewegungsgrösse (§. 106) der Flüssigkeit, welche während einer Secunde an der Fläche ankommt, gleich

$$\frac{\gamma F v^2}{g}$$

wenn F den Querschnitt des Strahls, v seine Geschwindigkeit, γ das Gewicht der Cubikeinheit der Flüssigkeit und g die Beschleunigung der Schwere bezeichnet. Nun ist $\frac{v^2}{2g}$ die Höhe, welche der Geschwindigkeit v entspricht; folglich kann, wenn diese Höhe mit h bezeichnet wird, die Bewegungsgrösse auch durch $\gamma F . 2h$ ausgedrückt werden. Diese Bewegungsgrösse wird bei den gemachten Voraus-

setzungen in jeder Secunde durch den Widerstand der Fläche vollständig vernichtet. Dieser Widerstand, und folglich auch umgekehrt der Druck, welchen der Flüssigkeitsstrahl gegen die Fläche ausübt, ist also einer Kraft gleich zu achten, die, mit der Zeit ihrer Wirksamkeit (hier 1 Secunde) multiplicirt, jene Bewegungsgrösse gibt. Der in Rede stehende Druck ist also gleich $\gamma F . 2h$, d. h. gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, welche den Querschnitt des Strahls zur Basis und die doppelte Druckhöhe, welche der Geschwindigkeit des Strahls entspricht, zur Länge hat.

Da die Höhe, welche einer gewissen Geschwindigkeit entspricht, proportional dem Quadrate dieser Geschwindigkeit ist (§. 98), so kann man auch sagen, dass der Druck, welchen ein Flüssigkeitsstrahl auf eine ebene Fläche, die senkrecht zu seiner Richtung gestellt und hinreichend gross ist, ausübt: 1) proportional dem Querschnitt des Strahls und 2) proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit der Flüssigkeitsmoleküle ist, aus welchen derselbe besteht. Und dieses Resultat ist auch sehr einleuchtend, wenn man bedenkt, dass 1) ein Strahl von doppeltem Querschnitt bei derselben Geschwindigkeit die doppelte Anzahl von Molekülen in einer bestimmten Zeit gegen die Fläche sendet, und dass 2) bei einem Strahl von gleichem Querschnitt, aber der doppelten Geschwindigkeit in derselben Zeit nicht nur doppelt so viele Moleküle gegen die Fläche stossen, sondern dass jedes derselben auch die doppelte Geschwindigkeit besitzt und daher auch die doppelte Wirkung ausübt.

§. 342. Wenn die Fläche, gegen welche der Flüssigkeitsstrahl trifft, nicht eben ist, so hängt der Druck, welcher gegen sie ausgeübt wird, auch noch von ihrer Form ab. Dieser Druck ist grösser oder kleiner, je nachdem die Fläche den Strahl eine grössere oder geringere Richtungsänderung anzunehmen nöthigt. Wenn die Fläche nach der Seite des Strahls hin convex ist, so werden die Flüssigkeitsfäden weniger stark von ihrer Richtung abgelenkt als bei einer ebenen Fläche; desshalb wird auch der auf sie ausgeübte Druck weniger stark sein als der, welcher einer ebenen Fläche entspricht. Wenn dagegen die von dem Flüssigkeitsstrahl getroffene Fläche concav ist, so wird der Druck auf sie grösser als in dem Falle einer ebenen Fläche.

Wenn z. B. der Strahl gegen die Mitte einer hohlen Halbkugel (Fig. 341) stösst, so strömen, wie leicht zu sehen, die Flüssigkeitsfäden über die Ränder dieser Halbkugel mit einer Geschwindigkeit, gleich und entgegengesetzt derjenigen, welche sie vor dem Zusammentreffen mit der Fläche hatten. Jeder dieser Flüssigkeitsfäden ändert zunächst seine Richtung so lange, bis sie senkrecht zu seiner

ursprünglichen Richtung wird, ebenso wie wenn er einer ebenen Fläche begegnet wäre; von da an aber erfährt der Faden die nämliche Richtungsänderung nochmals, nur in entgegengesetztem Sinne, bis er endlich parallel zur Axe des Strahls wird und sich in entgegengesetzter Richtung bewegt; in dieser zweiten Periode übt der Faden offenbar die nämliche Wirkung nochmals gegen die Fläche aus wie in der ersten. Der Gesammtdruck, welchen die Hohlkugel erfährt, wird also doppelt so gross sein wie derjenige, den eine ebene Fläche zu tragen hat, welche die Wirkung des nämlichen Strahls in senkrechter Richtung empfängt. Der Versuch bestätigt dieses Resultat.

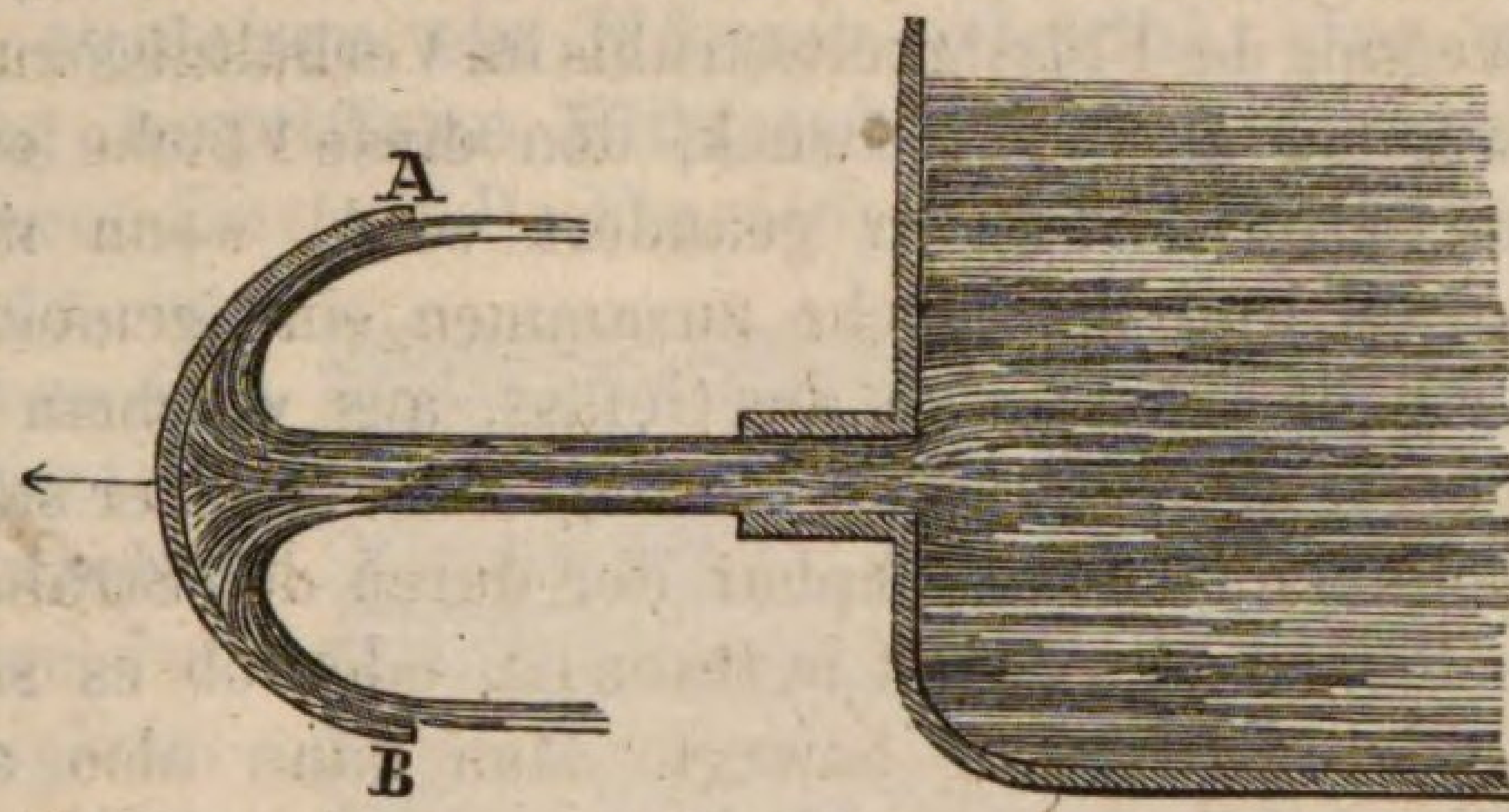


Fig. 441.

§. 343. Wenn ein Flüssigkeitsstrahl einer ebenen Fläche AB (Fig. 442) begegnet, die sich ihm in schiefer Richtung darbietet, so ist der Druck, welcher auf diese Fläche ausgeübt wird, nicht mehr derselbe, als wenn sie der Strahl in senkrechter Richtung treffen würde. Die Geschwindigkeit CD des Strahls kann als Resultante zweier Geschwindigkeiten CE, CF (§. 117) betrachtet werden, von denen die eine senkrecht zur Ebene AB die andere parallel dazu ist. In Folge der Geschwindigkeit CF allein würden sich die Flüssigkeitsfäden blos parallel der Ebene AB fortbewegen, ohne irgend einen Druck gegen diese Ebene ausüben zu können. Der Druck, welchen die Ebene zu erleiden hat, rührt also allein von der Geschwindigkeit CE her; er ist derselbe, als wenn sich der Strahl mit dieser Geschwindigkeit CE senkrecht zur Fläche AB bewegen würde und sein Querschnitt gleich dem wäre, den man erhält, wenn man durch den Flüssigkeitsstrahl eine Ebene parallel zur Fläche AB legt.

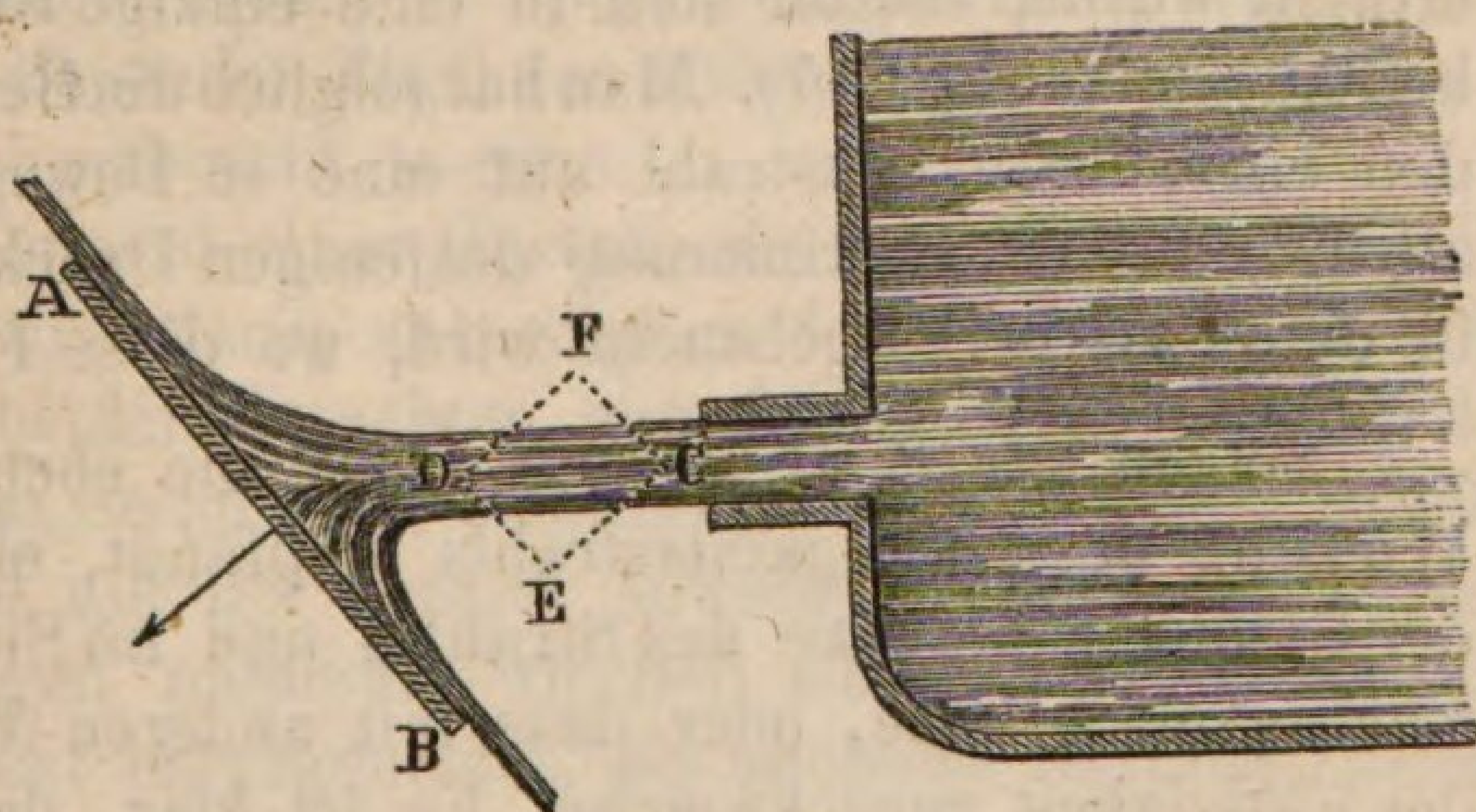


Fig 442.

§. 344. Wenn die ebene Fläche, welcher ein Flüssigkeitsstrahl begegnet, selbst in Bewegung ist, so gelangt man durch folgende

Betrachtung dazu, den Druck, welchen sie von Seiten des Strahls zu erleiden hat, zu bestimmen. Es ist klar, dass die relative Bewegung des Flüssigkeitsstrahls im Verhältniss zur Fläche — welche Bewegung allein den Druck, den diese Fläche empfängt, bestimmt — nicht im geringsten geändert wird, wenn man dem Flüssigkeitsstrahl und der Fläche zusammen eine gemeinschaftliche Bewegung ertheilt; wenn sich das Gefäss, aus welchem der Flüssigkeitsstrahl hervorströmt, und die Fläche, auf welche er stösst, auf einem Schiffe befinden, so ist offenbar der durch den Strahl ausgeübte Druck derselbe, ob das Schiff in Ruhe ist, oder ob es sich in der einen oder anderen Richtung bewegt. Man kann also annehmen, dass dem Flüssigkeitsstrahl und der beweglichen Ebene, welcher er begegnet, eine gemeinschaftliche Geschwindigkeit ertheilt werde, die gleich und entgegengesetzt der Geschwindigkeit der Ebene ist. Der Druck der Flüssigkeit gegen die Ebene wird dadurch nicht im geringsten geändert. Aber da nun die Ebene zwei gleiche und entgegengesetzte Geschwindigkeiten zugleich besitzt, so bleibt sie unbeweglich; und die beiden Geschwindigkeiten des Flüssigkeitsstrahls, nämlich einmal seine ursprüngliche und dann die, welche ihm soeben ertheilt wurde, setzen sich in eine einzige Resultantengeschwindigkeit zusammen (§. 117). Man hat folglich die Bestimmung des Druckes, den ein Flüssigkeitsstrahl auf eine in Bewegung begriffene Ebene ausübt, auf die Bestimmung desjenigen Druckes zurückgeführt, der in dem Fall hervorgebracht wird, wo diese Fläche in Ruhe ist.

Setzen wir z. B. voraus, dass die ebene Fläche, welche die Wirkung des Flüssigkeitsstrahls empfängt, eine Geschwindigkeit in der Richtung der Axe des Strahles und im Sinne der Bewegung der Flüssigkeit besitze, oder dass mit anderen Worten die Fläche vor der Flüssigkeit zurückweiche. Es ist klar, dass in diesem Fall die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsmoleküle grösser sein muss als die der Fläche, wenn auf diese letztere ein Druck hervorgebracht werden soll. Indem man nun Das, was wir soeben im Allgemeinen gesagt haben, auf diesen speciellen Fall anwendet, sieht man leicht, dass der Druck, welchen die ebene Fläche zu erleiden hat, der nämliche ist, als wenn diese Ebene still stände und der Flüssigkeitsstrahl nur eine Geschwindigkeit gleich der Differenz zwischen seiner eigenen und der der Ebene besässe.

Wenn die Ebene noch immer in der Richtung der Axe des Flüssigkeitsstrahls, aber in entgegengesetztem Sinne der Bewegung dieses Strahls fortschreitet, so ist der Druck, welchen sie zu tragen hat, derselbe, als wenn sie unbeweglich wäre und der Flüssigkeits-

strahl eine Geschwindigkeit gleich der Summe seiner eigenen und der der Ebene besässe.

§. 345. **Druck, welchen ein Körper erleidet, der in eine in Bewegung begriffene Flüssigkeit eingetaucht ist.** — Wenn eine ebene Fläche AB (Fig. 443) mitten in eine Flüssigkeitsmasse getaucht ist, welche sich senkrecht zu dieser Fläche bewegt, so hat letztere einen Druck zu erleiden, ähnlich demjenigen, welchen ein einzelner Flüssigkeitsstrahl gegen sie ausüben würde. Die Kraft mit welcher die Ebene gehalten werden muss, damit sie nicht der Wirkung der Flüssigkeit folgt, rührt von zwei Ursachen her: 1) die bewegte Flüssigkeit übt auf die vordere Seite der Fläche einen grösseren Druck als derjenige ist, welcher stattfinden würde, wenn die Flüssigkeit in Ruhe wäre; 2) der Druck auf die hintere Seite der Fläche wird zu gleicher Zeit vermindert, und zwar, wie man leicht sieht, in Folge von Wirbeln, welche in dem hinter der Fläche liegenden Theil der Strömung durch die Gegenwart der Fläche hervorgebracht werden.

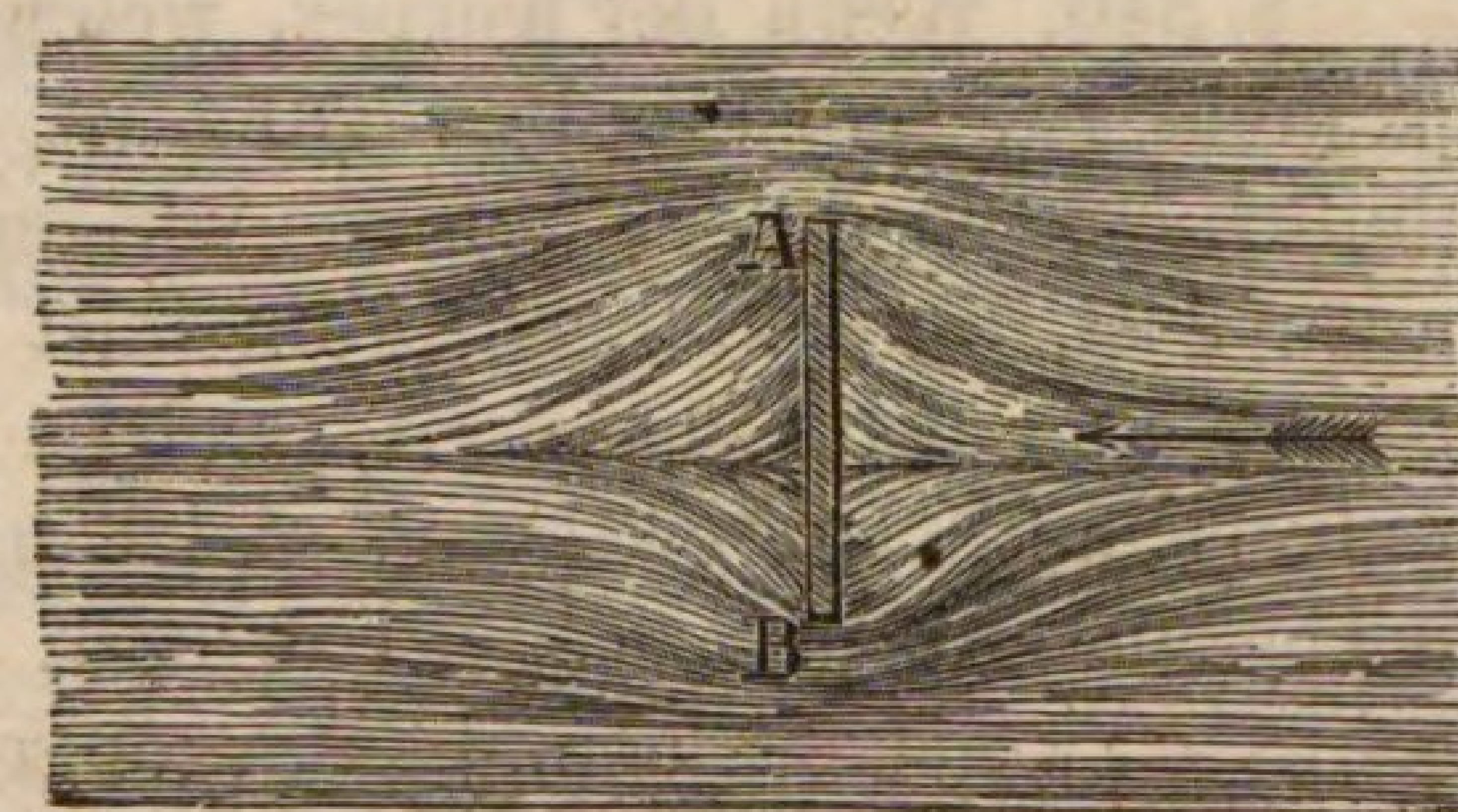


Fig. 443.

Ein Körper von irgend einer Gestalt, der in einen Strom von Flüssigkeit getaucht und darin unbeweglich festgehalten wird, erfährt aus denselben beiden Ursachen, von denen so eben die Rede war, einen Druck von Seiten der Flüssigkeit. Aber dieser Druck ändert sich bedeutend mit der Gestalt sowohl des vorderen Theils des Körpers, desjenigen nämlich, welcher sich der Wirkung der Flüssigkeitsfäden direkt entgegensetzt, als auch des hinteren Theils, in dessen Nähe die Wirbel, von denen wir eben gesprochen haben, hervorgebracht werden.

Der Versuch zeigt, dass der in Rede stehende Druck für einen und denselben Körper proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit der Flüssigkeit, und für ein und dieselbe Geschwindigkeit und ähnliche Gestalten der eingetauchten Körper proportional dem grössten Querschnitt des Körpers, senkrecht gegen die Richtung der Bewegung gemacht, ist. Wenn ein Körper nur theilweise in die Flüssigkeitsmasse eingetaucht ist, wie z. B. ein schwimmender Körper, so hat man dabei natürlich nur den Theil dieses Körpers, der unter der Oberfläche der Flüssigkeit gelegen ist, zu berücksichtigen.

Bei der nämlichen Geschwindigkeit der Flüssigkeit und dem nämlichen grössten Querschnitt des eingetauchten Körpers ist der

Gesammtdruck, welchen die Flüssigkeit auf den Körper ausübt, um so geringer, je schiefere Flächen die Vorder- sowohl als die Hinterseite des Körpers der Richtung der Flüssigkeitsfäden darbieten. Ausserdem wird dieser Druck stets durch Ecken und Kanten, gegen welche sich die Flüssigkeitsfäden bewegen müssen, vergrössert.

§. 346. Wenn der Körper, welcher in eine bewegte Flüssigkeit getaucht ist, selbst in Bewegung ist, so kann man diesen Fall ganz ähnlich wie in §. 344 auf den vorigen, wo der eingetauchte Körper in Ruhe ist, zurückführen. Man darf sich nur vorstellen, dass dem Körper und der Flüssigkeit, welche ihn umgibt, zusammen eine gemeinschaftliche Bewegung, gleich und entgegengesetzt derjenigen, welche der Körper besitzt, ertheilt werde. Dieser letztere erhält dadurch zwei gleiche und entgegengesetzte Bewegungen und bleibt folglich in Ruhe, während sich die Flüssigkeit mit der Geschwindigkeit bewegt, welche aus der Zusammensetzung ihrer eigenen mit derjenigen, die ihr soeben ertheilt worden ist, hervorgeht. Man hat also den Fall, wo sich ein Körper, der in Ruhe ist, in einer bewegten Flüssigkeit befindet.

Wenn sich z. B. der Körper in der nämlichen Richtung wie die Flüssigkeit, entweder im gleichen oder im entgegengesetzten Sinne bewegt, so ist der Druck, welchen er erleidet, derselbe, als wenn er in Ruhe wäre und die Flüssigkeit eine Geschwindigkeit besässe, die gleich der Differenz oder der Summe ihrer eigenen und der Geschwindigkeit des Körpers ist.

Wenn sich ein Körper in einer in Ruhe befindlichen Flüssigkeit bewegt, so erfährt er denselben Druck, als wenn er in Ruhe wäre und die Flüssigkeit eine Bewegung, gleich und entgegengesetzt der seinigen, besässe. Dieser Druck, welchen ein Körper, der sich in einer Flüssigkeit bewegt, zu erleiden hat, ist es, aus welchem der Widerstand besteht, von dem wir oben (§. 148) gesprochen, und dessen Gesetze wir dort in Kürze angezeigt haben.

Die Kraft, welche an einem Schiffe angebracht werden muss, um es in der Bewegung, welche ihm ertheilt worden ist, zu erhalten, hat nur den Widerstand zu überwinden, welchen ihm das Wasser, in welchem es sich bewegt, entgegensetzt, sowie denjenigen, der durch die Luft hervorgerufen wird; doch ist letzterer gewöhnlich bedeutend schwächer als jener. Um die Grösse der bewegenden Kraft, welche einer gegebenen Geschwindigkeit entspricht, zu vermindern, oder auch wohl, um die Geschwindigkeit, welche ein und die nämliche bewegende Kraft hervorbringen und erhalten kann, zu erhöhen, muss man dem Schiffe eine solche Form geben, dass bei Gleichheit des eingetauchten Volumens der Widerstand gegen die Bewegung

so klein als möglich wird. Diese Bedingung muss aber zugleich mit der erfüllt sein, welche wir schon oben (§. 285) angegeben haben, und durch welche die Stabilität des Gleichgewichts gesichert werden soll. Um diese Zwecke zu erreichen, gibt man dem Vordertheil des Schiffes eine solche Gestalt, dass es die Wogen leicht durchschneiden kann, während man seine Flanken, sowohl nach vorn als nach hinten, abrundet, um die Vermehrung des Widerstandes, welche durch die Gegenwart von Ecken und Kanten hervorgebracht wird, zu verhindern.

Um zu zeigen, wie sehr die Form eines Schiffes von Einfluss auf den Widerstand ist, welcher sich seiner Bewegung entgegensetzt, reicht es hin, das Resultat eines Versuches anzuführen, welcher von Bossut angestellt worden ist. Ein Modell eines Linienschiffes und ein Prisma von derselben Länge, dessen Basis dem grössten Querschnitt des Schiffes gleich war, wurden im Sinne ihrer Länge in ein ruhig stehendes Wasser, von dem sie ein gleiches Volumen verdrängten, mit gleicher Geschwindigkeit in Bewegung gesetzt; Bossut fand, dass das Wasser dem Prisma einen 5mal so grossen Widerstand als dem Schiffe entgegensetzte.

§. 347. **Druck eines bewegten Gases auf einen Körper.** — Ein Gasstrahl, welcher einer feststehenden oder bewegten Fläche begegnet, übt einen Druck gegen dieselbe aus, ähnlich demjenigen, welcher unter denselben Umständen durch einen Flüssigkeitsstrahl hervorgebracht wird; er befolgt auch die nämlichen Gesetze wie dieser (§§. 341—344), und es besteht überhaupt kein wesentlicher Unterschied zwischen beiden als der, dass der Druck, welcher durch einen Gasstrahl hervorgebracht wird, gewöhnlich viel schwächer ist, als wenn es sich um eine Flüssigkeit handelt, was aus der geringen Masse der Gasmenge, welche in einer bestimmten Zeit gegen die Fläche stösst, leicht erklärlich ist.

Ein Körper, welcher sich mitten in einer bewegten Gasmasse befindet, erfährt gleichfalls einen Druck, ähnlich demjenigen, welcher stattfinden würde, wenn das Gas durch eine ebenfalls in Bewegung begriffene Flüssigkeit ersetzt wäre. Dieser Druck, welcher zu einem Widerstande gegen die Bewegung in dem Fall wird, wo sich ein Körper inmitten eines in Ruhe befindlichen Gases bewegt, ist ebenfalls noch denselben Gesetzen unterworfen (§§. 345 u. 346), als wenn er durch eine Flüssigkeit hervorgebracht würde.

§. 348. **Widerstand der Luft beim Fall der Körper.** — Wir haben im §. 92 gesehen, dass, wenn die Körper in freier Luft nicht sämmtlich gleichschnell fallen, diess von dem Widerstande der atmosphärischen Luft herrührt, welcher sich ihrer Bewegung

entgegensetzt. Es ist nun leicht, uns über die Art und Weise, in welcher dieser Widerstand auf die verschiedenen Körper wirkt, Rechenschaft zu geben.

Wenn ein Körper in der Luft fällt, so ist er der Wirkung zweier Kräfte ausgesetzt, von denen die eine sein Gewicht, die andere der Widerstand der Luft ist. Für Körper von gleichem Gewicht, aber verschiedener Grösse, ist die erste Kraft die nämliche; die zweite dagegen ist um so grösser, je grösser die Oberfläche des grössten Querschnitts ist, der durch jeden der Körper senkrecht auf die Richtung seiner Bewegung gemacht wird. Diese Körper werden folglich um so weniger schnell fallen, je grösser die Fläche ist, welche sie der Luft darbieten. Die Geschwindigkeit, mit welcher ein und derselbe Körper herabfällt, ist grösser oder kleiner, je nachdem er, nach der einen oder anderen Seite gekehrt, die Luft mit einer grösseren oder kleineren Fläche zu durchschneiden hat; desshalb fällt ein Blatt Papier viel langsamer in horizontaler als in vertikaler Lage.

Körper von derselben Natur und von ähnlicher Gestalt fallen nicht mit derselben Geschwindigkeit, wenn ihre Grösse verschieden ist. Wenn es sich z. B. um zwei Bleikugeln handelt, von denen die eine einen doppelt so grossen Durchmesser als die andere hat, so ist das Gewicht der grösseren 8mal so gross als das der kleineren; ihre Massen stehen in dem nämlichen Verhältniss. Der Widerstand der Luft müsste also bei der ersteren Kugel ebenfalls 8mal so gross sein, als bei der zweiten, wenn ihre Bewegung die nämliche sein sollte. Diess ist aber nicht der Fall. Bei gleicher Geschwindigkeit ist der Widerstand, welchen die Luft der Bewegung der ersten Kugel entgegensetzt, nur 4mal so gross, als der, welchen die zweite erfährt, weil die Flächen ihrer grössten Querschnitte in dem Verhältniss 4 zu 1 zu einander stehen: die grössere Kugel wird also schneller fallen als die kleinere. Die nämlichen Betrachtungen zeigen, warum man mit Geschossen von demselben Material, aber von verschiedener Grösse, eine um so grössere Entfernung erreicht, je grösser sie sind; der Widerstand der Luft, welcher sich der Bewegung des Projektils entgegensetzt, ist um so weniger fühlbar, je grösser die Masse desselben im Verhältniss zu seiner Oberfläche ist.

Wenn ein Körper in der Luft fällt, so beschleunigt sich seine Bewegung in Folge des Widerstandes, den er von Seiten der Luft erfährt, nicht in dem Grade, als wenn er im leeren Raum fiele. In dem Maasse, als sich seine Geschwindigkeit vergrössert, vermehrt sich auch der Widerstand der Luft; seine Bewegung beschleunigt sich also immer weniger und weniger, da sich der Ueberschuss

seines Gewichtes über den Widerstand mehr und mehr vermindert. Man sieht daraus sogar, dass die Geschwindigkeit des Körpers eine gewisse Grenze nicht überschreiten kann; diese Grenzgeschwindigkeit ist offenbar diejenige, bei welcher der Widerstand der Luft gleich dem Gewichte des Körpers ist. Man sieht in der That, dass wenn der Körper einmal diese Geschwindigkeit besitzt, die Kraft, welche seine Bewegung zu beschleunigen sucht, von der Kraft, welche sich der Bewegung entgegensetzt, im Gleichgewicht gehalten wird, und dass folglich die Bewegung von da ab eine gleichförmige werden muss. Die in Rede stehende Grenzgeschwindigkeit wird ausserdem um so kleiner sein, eine je grössere Fläche der Körper, bei derselben Masse, der Luft darbietet. Aus diesen Betrachtungen erklärt sich auch die Art und Weise, auf welche die Fallschirme, mittelst der man sich bekanntlich, ohne Schaden zu nehmen, von bedeutenden Höhen herabfallen lassen kann, wirken. Der Fallschirm ist ein Apparat, der genau die Gestalt eines grossen Regenschirms hat, und welcher an seinem untersten Theil einen Korb trägt, in welchen sich Derjenige, der sich herabfallen lassen will, setzen kann. Wenn der Fallschirm geschlossen ist (Fig. 444), so kann er



Fig. 444.



Fig. 445.

mit grosser Geschwindigkeit fallen; aber wenn er sich öffnet (Fig. 445), so bietet er der Luft eine so grosse Fläche dar, dass er, ungeachtet des

Gewichts, welches er trägt, nur eine sehr mässige Geschwindigkeit annehmen kann. Wenn der Fallschirm, bevor er sich geöffnet hat, eine etwas grosse Geschwindigkeit angenommen hätte, so würde dieselbe nach seinem Oeffnen sofort vermindert werden, weil der Widerstand der Luft, da er nun grösser als das Gesammtgewicht des Apparats wäre, seine Bewegung verzögern würde.

§. 349. **Wirkung des Steuerruders bei der Bewegung eines Schiffes.** — Das Steuerruder, welches man an dem Hintertheil eines Schiffes anbringt, hat den Zweck, der Bewegung dieses Schiffes diejenige Richtung geben zu können, die sie haben soll. Es besteht aus nichts weiter als aus einer ebenen Fläche, die vertikal gestellt und um einen ihrer vertikalen Ränder wie in einem Scharnier beweglich ist. Um das Steuerruder um diese Art von Scharnier zu drehen, wirkt man entweder auf einen langen Hebel, welcher an seinem oberen Theile horizontal befestigt ist, oder auch wohl auf ein vertikales Rad, das, auf seinem ganzen Umfange mit Handgriffen versehen, auf dem Verdeck des Schiffes steht, und dessen Rotationsbewegung sich in irgend einer Weise dem Steuerruder mittheilt.

Nehmen wir an, dass das Wasser, auf welchem sich das Schiff bewegt, in Ruhe sei, dass ferner die Kraft, welche an diesem Schiffe angebracht ist, es im Sinne seiner Länge zu bewegen sucht, und dass seine Bewegung während einer gewissen Zeit fortdauern soll, ohne die Richtung zu ändern. Es ist klar, dass man dann das Steuerruder so stellen muss, dass seine Flächen in der Richtung der Axe des Schiffes und folglich in der Richtung der Bewegung, welche dasselbe besitzt, liegen. Aber wenn man will, dass das Schiff von einem gegebenen Augenblick an eine andere Richtung einschlagen, dass sich sein Vordertheil z. B. von dem Punkte, nach welchem es bis jetzt gerichtet war, nach rechts abwenden soll, so wird man das Steuerruder nach derselben Seite hin drehen (Fig. 446).

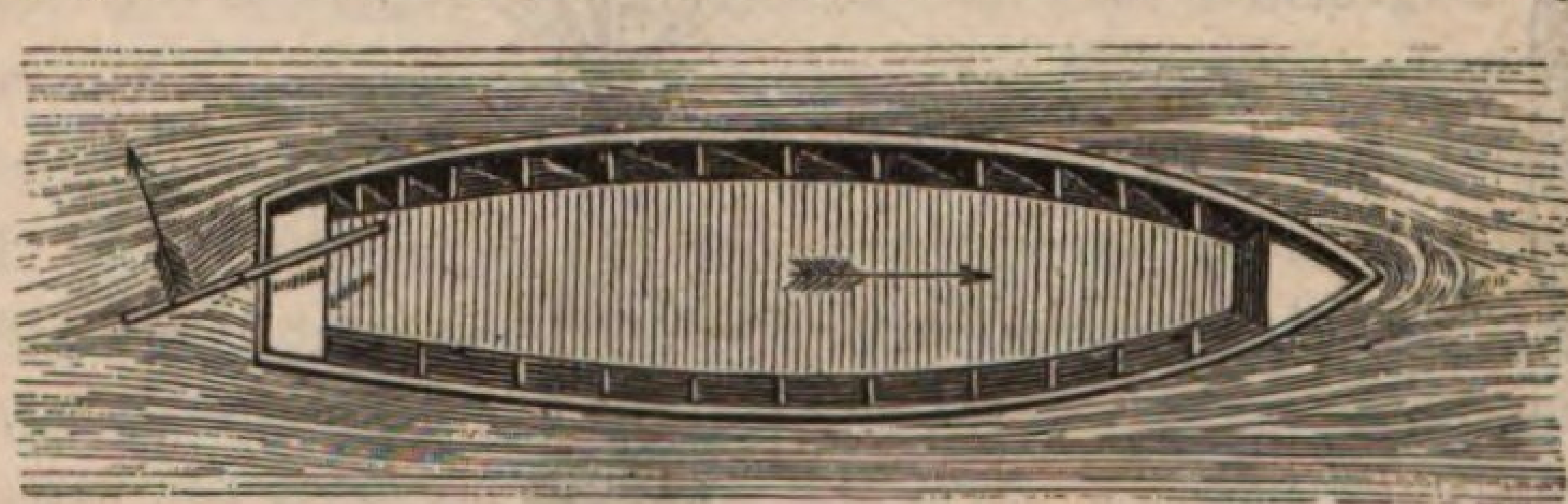


Fig. 446.

Da sich die Bewegung des Schiffes in der Weise, wie sie einen Augenblick vorher war, fortsetzt, so wird auf das Steuerruder von Seiten der Flüssigkeit in einer Richtung, senkrecht auf seine Fläche, ein Druck ausgeübt, den es vorher, ehe man ihm seine neue Stellung

gegeben hatte, nicht erfuhr. Dieser Druck wirkt auf das Schiff, mit welchem das Steuerruder so zu sagen ein Stück ausmacht, und nöthigt es, sich in dem verlangten Sinne zu drehen. Wenn auf diese Weise die Axe des Schiffes in die neue Richtung, welche sie annehmen soll, gebracht ist, so stellt man das Steuerruder wieder so, wie es vorher war, und die Bewegung wird nun wieder in gerader Linie fortgesetzt, bis man von Neuem auf das Steuerruder wirkt.

Die Bewegung eines Schiffes findet häufig unter weniger einfachen Umständen statt, als wir soeben vorausgesetzt haben. Die Kraft, mit welcher es fortbewegt wird, wirkt nicht immer im Sinne der Bewegung, welche man ihm geben will; diess ist z. B. meistens der Fall, wenn das Schiff durch den Wind getrieben wird. Ebenso besitzt die Flüssigkeit, in welcher die Bewegung stattfindet, oft selbst eine Geschwindigkeit, deren Richtung verschieden von derjenigen ist, die das Schiff erhalten soll; es folgt daraus, dass der Widerstand, welchen die Flüssigkeit der Bewegung des Schiffes entgegensetzt, nicht nach der Axe desselben wirkt. Wenn das Schiff unter diesen Umständen kein Steuerruder hätte, so würde es sich in den meisten Fällen nicht in der Richtung bewegen, welche es nehmen soll. Mittelst des Steuerruders, indem man dasselbe nach der einen oder anderen Seite dreht, entwickelt man eine neue Kraft, die von dem Drucke herrührt, welche das Steuerruder von Seite der Flüssigkeit erfährt; diese neue Kraft, indem sie sich mit denjenigen, von denen wir oben gesprochen haben, zusammensetzt, muss dem Schiffe die Bewegung geben, welche es erhalten soll.

Das Steuerruder eines Schiffes ist nichts als eine Nachahmung des Schwanzes der Fische, welcher denselben dazu dient, sich nach Belieben nach der einen oder anderen Seite zu wenden, indem sie ihn etwas nach rechts oder links von seiner natürlichen Stellung ablenken.

§. 350. **Fortbewegung der Schiffe mittelst Ruder, Räder oder Schrauben.** — Die Ruder, deren man sich bedient, um die Bewegung eines Kahnes hervorzubringen und zu unterhalten, sind gerade Hebel, die ihren Unterstützungspunkt gewöhnlich auf den Rändern des Kahns haben. Das eine der Enden jedes Ruders taucht in das Wasser, während ein Mensch, der in dem Kahne sitzt, den Rücken nach dem Vordertheil des Schiffes gekehrt, das andere Ende gegen sich her zieht. In dieser Weise auf das Ruder wirkend, dreht er dasselbe um seinen Unterstützungspunkt und bewegt folglich das Ende, welches in's Wasser taucht, in der Richtung vom Vordertheil nach dem Hintertheil des Schiffes. Diese Bewegung des Ruders entwickelt einen Widerstand von Seiten der

Flüssigkeit, und dieser Widerstand ist eine Kraft, welche an dem Ruder wirkt und im entgegengesetzten Sinne der Bewegung desselben gerichtet ist, d. h. vom Hinter- nach dem Vordertheil des Kahns. Das Ruder ist also der Wirkung zweier paralleler und in dem nämlichen Sinn wirkender Kräfte ausgesetzt; eine derselben entspringt aus der Wirkung des Menschen, welcher das Ruder handhabt, und die andere ist der Widerstand, welchen die Flüssigkeit der Bewegung des Ruders im Wasser entgegensetzt. Diese beiden Kräfte, indem sie an den beiden Enden des Ruders wirken, geben eine Resultante, gleich ihrer Summe, welche in dem Punkte angreift, wo sich das Ruder gegen den Rand des Kahns stützt; und es scheint, als ob diese Resultante die Kraft wäre, welche auf den Kahn wirkt, um ihn in Bewegung zu erhalten. Aber bei einiger Ueberlegung sieht man leicht, dass der Mensch mit seinen Händen keine Zugkraft an dem Ende des Ruders ausüben kann, ohne dass er sich zu gleicher Zeit mit seinen Füssen gegen den Kahn stützt und auf diese Weise einen Druck gegen denselben ausübt, der gleich und entgegengesetzt jener Zugkraft ist; in Folge der Kraft, welche durch die Zusammenziehung seiner Muskeln entwickelt wird, wirkt sein Körper wie eine Feder, die zusammengedrückt wurde, und welche, indem sie sich wieder abzuspannen sucht, gleiche und entgegengesetzte Drückungen auf die Körper ausübt, mit denen ihre Enden in Berührung sind. So ruft also die Wirkung des Menschen auf das Ruder in den Punkten, wo sich dieses gegen den Kahn stützt, einen Druck, gleich der Resultante, von der wir soeben gesprochen haben, hervor; aber es findet zu gleicher Zeit ein Druck im entgegengesetzten Sinne statt, den er durch seine Füsse ausübt. Im Ganzen ist also der Kahn nur der Differenz dieser beiden Kräfte ausgesetzt, und diese Differenz ist offenbar genau gleich dem Drucke, welchen das Ruder von Seite der Flüssigkeit erfährt, in welcher es sich bewegt; diese Kraft allein ist es, welche die Bewegung des Kahns zu beschleunigen sucht.

Das Resultat, zu welchem wir eben gelangt sind, erhält man unmittelbar, wenn man sich weiter nichts darum bekümmert, wie das Ruder mit dem Kahne in Verbindung steht, und auf welche Weise es bewegt wird. Der Widerstand, welchen das Wasser ihm entgegensetzt, ist offenbar die einzige äussere Kraft, welche auf den Kahn wirkt, und kann folglich als die bewegende Kraft betrachtet werden, welche die Geschwindigkeit desselben zu vermehren sucht.

Wenn das Ruder um eine gewisse Grösse um seinen Unterstützungspunkt gedreht worden ist, so gelangt es in eine Lage, in

welcher die Fortsetzung der gleichen Wirkung auf dasselbe nicht mehr möglich ist. Dann senkt Der, welcher es handhabt, das Ende, welches er in seinen Händen hält, um zu gleicher Zeit das andere Ende aus dem Wasser zu erheben; hierauf dreht er das Ruder im entgegengesetzten Sinne wie vorher, und erst, wenn er es in passende Lage gebracht hat, senkt er es wieder in's Wasser, um von Neuem seine Zugkraft ausüben zu können. — Indem man auf diese Weise dem Ruder eine Reihe von hin- und hergehenden Bewegungen in der Weise ertheilt, wie wir sie soeben beschrieben haben, kann die Bewegung des Kahns eine beliebige Zeit hindurch unterhalten werden. Bei diesen hin- und hergehenden Bewegungen geht das Ende des Ruders, welches sich ausserhalb des Kahns befindet, bald vom Vorder- nach dem Hintertheil, bald in entgegengesetzter Richtung. In dem ersten Fall taucht es in's Wasser, im zweiten ist es aus dem Wasser gehoben und bewegt sich in der Luft.

Der Druck, welchen das Ruder von Seite der Flüssigkeit erfährt, ist um so grösser, je schneller es bewegt wird und je grösser die Fläche ist, mit welcher es der Flüssigkeit begegnet. Um behufs Erreichung einer gewissen Wirkung auf den Kahn die Geschwindigkeit des Ruders nicht zu sehr vergrössern zu müssen, macht man lieber den Theil desselben, der in das Wasser eintaucht, breiter und lässt ihm nur gerade die Dicke, welche zu seiner ausreichenden Festigkeit nothwendig ist. Man erzielt durch diese Vergrösserung der Fläche denselben Erfolg wie durch eine Vergrösserung der Geschwindigkeit, aber die Handhabung des Ruders ist dadurch leichter geworden.

Um einen Kahn mittelst Ruder in passender Weise fortbewegen zu können, müssen dieselben in gerader Anzahl vorhanden sein, und die Hälfte von ihnen auf der einen, die andere Hälfte auf der andern Seite wirken. Denn wenn diess nicht der Fall wäre, so müssten offenbar die Drückungen, welche durch Vermittlung der Ruder von Seite der Flüssigkeit auf den Kahn ausgeübt werden, eine Resultante geben, welche nicht in der Axe des Kahnes wirkt und in Folge ihrer schiefen Richtung den Kahn fortwährend von der Richtung abzulenken sucht, die er in irgend einem Augenblick verfolgt.

§. 351. Um ein Schiff von grösseren Dimensionen mittelst Ruder fortzubewegen, müsste man, wie es bei den Galeeren der früheren Zeit wirklich geschah, eine grosse Anzahl derselben anwenden, was jedoch Nachtheile und Unbequemlichkeiten verschiedener Art, besonders für etwas längere Reisen, nach sich ziehen würde. In diesem Fall ersetzt man die Ruder durch sogenannte

Schaufelräder (Fig. 447), welche mittelst einer Dampfmaschine um ihre Axe gedreht werden. Darin besteht die wesentliche Einrichtung

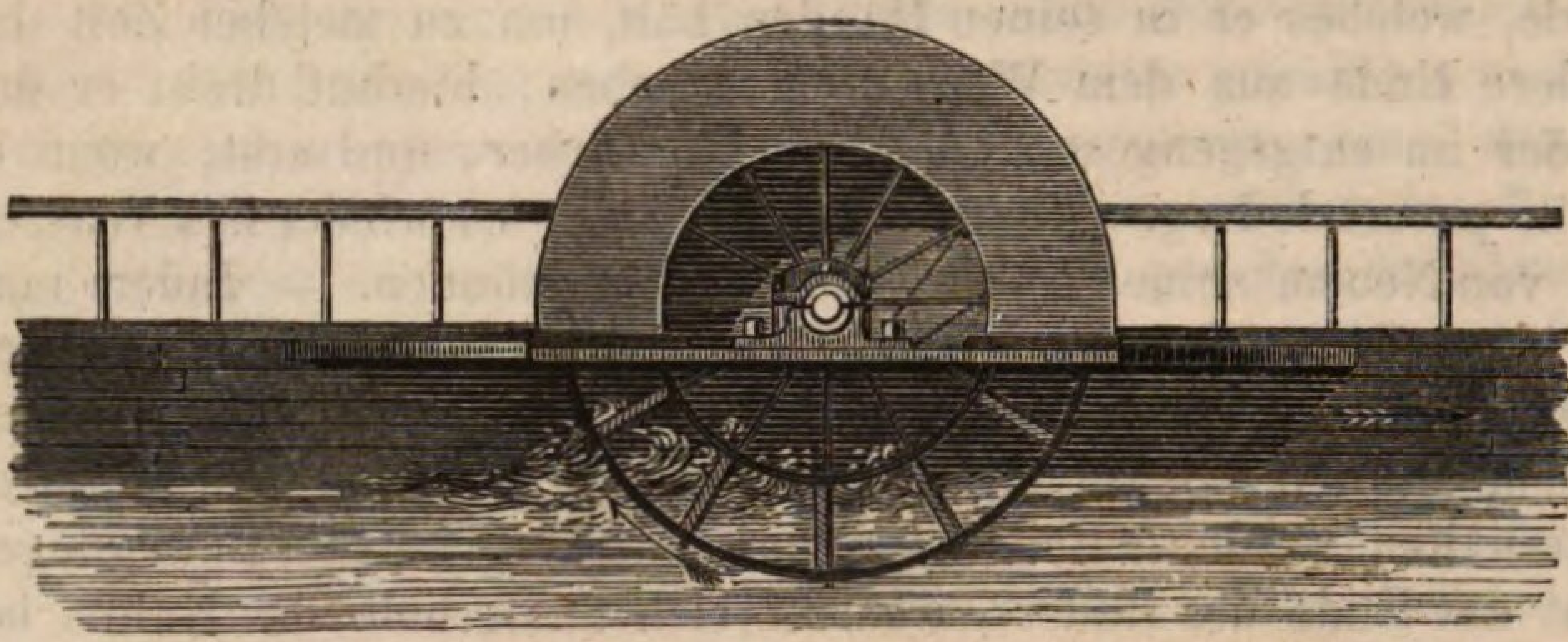


Fig. 447.

der Dampfschiffe. Der Räder sind immer zwei an der Zahl, eines an jeder Seite des Schiffes; sie sind an den beiden Enden einer horizontalen Welle befestigt, die senkrecht zur Länge des Schiffes durch dasselbe hindurchgeht und von einer Dampfmaschine in Rotation versetzt wird. Die Schaufeln dieser Räder wirken ganz auf dieselbe Weise wie die Ruder. Wenn sie sich in dem unteren Theile des Kreises, welchen sie beschreiben, befinden, so tauchen sie in das Wasser und bewegen sich in der Richtung vom Vorder- nach dem Hindertheil des Schiffes; hierauf heben sie sich aus dem Wasser und bewegen sich in der Luft im entgegengesetzten Sinne, um wieder in das Wasser zu tauchen und sich darin in derselben Weise wie vorhin zu bewegen. Der Druck, welchen dabei das Wasser auf die in Bewegung befindlichen eingetauchten Schaufeln ausübt, ist die bewegende Kraft, welche, indem sie auf das Schiff wirkt, die Geschwindigkeit desselben zu vergrössern sucht.

§. 352. In neuester Zeit werden häufig die Räder der Dampfschiffe durch die Schraube ersetzt. Um uns über die Wirkungsweise dieser Schrauben, denen man sehr verschiedene Formen gegeben hat, Rechenschaft zu geben, denken wir uns, dass ein Schiff mit einer gewöhnlichen Schraubenspindel, deren Axe horizontal und im Sinne der Länge des Schiffes gerichtet ist, versehen sei; wir denken uns ferner, dass diese Spindel, indem sie sich in Lagern, die an dem Schiffe befestigt sind, drehen kann, in eine Mutter eingreife, die im Verhältniss zu ihrer Umgebung in unveränderlicher Stellung festgehalten ist. Wenn man die Spindel dreht, so bewegt sie sich in der Mutter vorwärts und zieht das Schiff mit sich fort. Die Schraube, welche man an ein Schiff anbringt, ist in Wirklichkeit nichts anderes als eine Schraubenspindel, welche in ähnlicher Weise, wie wir sie eben beschrieben haben, wirkt; der Unterschied

besteht blos darin, dass die feste Mutter durch das Wasser ersetzt ist, in welchem sich die Schraube dreht. Dieses Wasser bleibt zwar nicht unbeweglich, wie wir es von der Mutter, an deren Stelle es sich befindet, vorausgesetzt haben, aber der Widerstand, welchen es gegen die geneigten Flächen der Schraube ausübt, ertheilt dem Schiffe nichtsdestoweniger eine fortschreitende Bewegung, deren Geschwindigkeit um so grösser ist, je schneller die Schraube gedreht wird.

Die Schraube A (Fig. 448) wird hinten an dem Schiffe, an dem

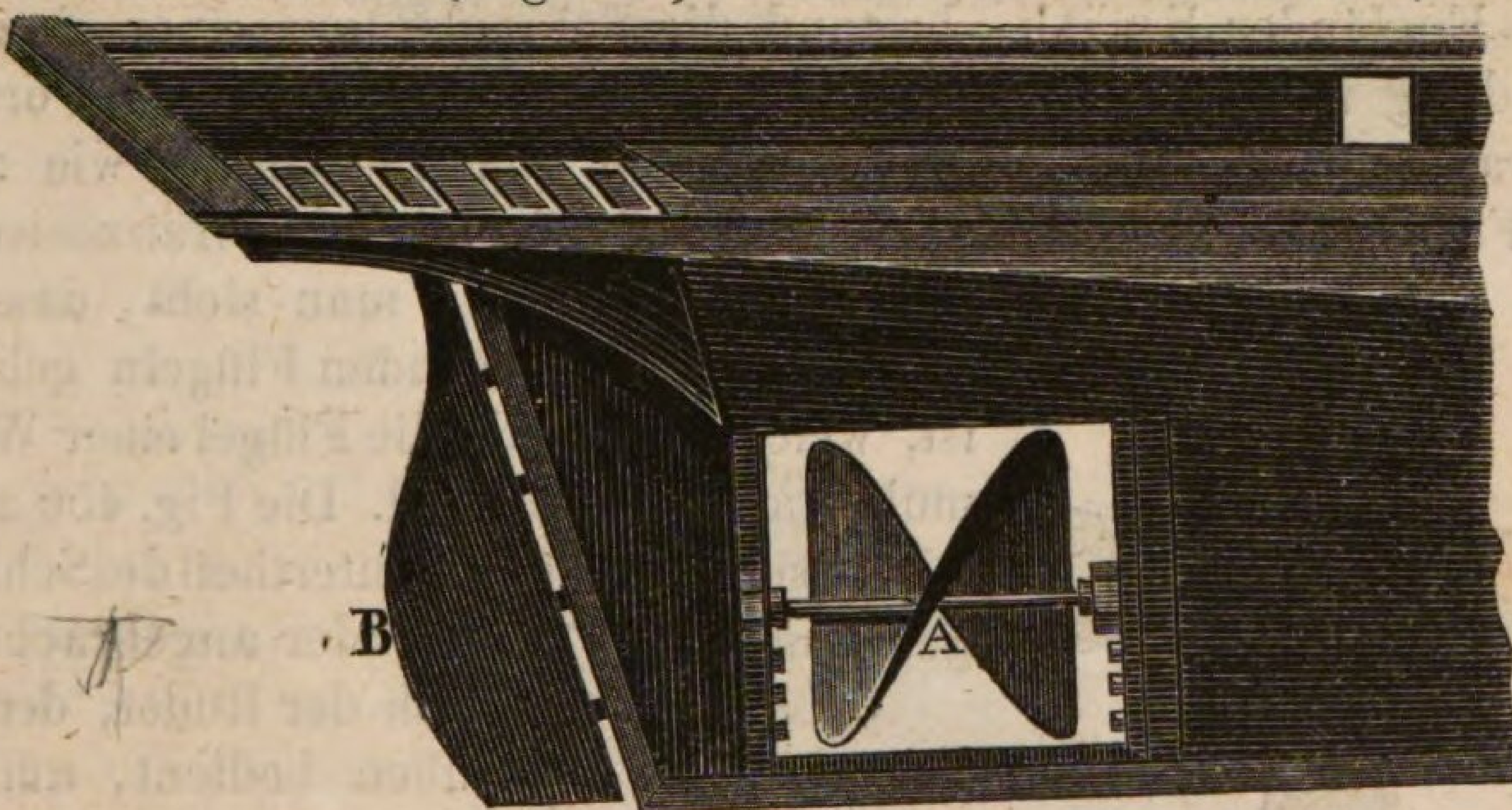


Fig. 448.

unteren Theil desselben und in der Vertikalebene angebracht, welche durch die Axe des Schiffes geht; sie befindet sich auf diese Weise in kleiner Entfernung vor dem Steuerruder B.

Wenn man der Art und Weise, in welcher die Schraube angebracht ist, einige Aufmerksamkeit schenkt, so sieht man alsbald, dass sie für die Schifffahrt auf dem Meere namentlich einen Vortheil darbietet: dieser besteht darin, dass ihre Wirkung stets eine regelmässige ist, was bei den Schaufelrädern nicht der Fall ist. Das Schiff neigt sich, bald auf die eine, bald auf die andere Seite; die beiden Räder sind daher fast fortwährend ungleich tief eingetaucht, und die Drückungen, welche sie von Seite des Wassers erfahren, sind in Folge dessen manchmal sehr verschieden von einander: das Schiff wird also beständig, bald nach der einen, bald nach der anderen Seite, von seiner Richtung abzulenken gesucht. Die Schraube im Gegentheil wirkt immer auf dieselbe Art, welche Neigung auch das Schiff in dem einen oder anderen Sinne hat; sie überträgt auf das Schiff beständig einen Druck, der im Sinne der Axe desselben gerichtet ist.

Die Erfahrung hat in der That gezeigt, dass die Schraube als Mittel zur Fortbewegung der Schiffe auf dem Meere den Schaufel-

rädern allemal dann vorzuziehen ist, wenn die Fahrt nicht unter so regelmässigen Umständen vor sich gehen kann wie in dem Falle, wo Windstille herrscht; aber selbst bei völliger Windstille ist die Wirkung der Schraube noch ebenso vortheilhaft wie die der Schaufelräder.

Man hat den Schrauben nach und nach sehr verschiedene Formen gegeben, ist aber bis heute noch nicht dazu gelangt, diejenige sicher festzustellen, welche die meisten Vortheile bietet. An dem ersten Schraubenschiff, dem „Archimedes", erbaut 1840 von dem Engländer Smith, bestand die Schraube aus einer einzigen Windung von 360 Grad; später construirte man aber mit Vortheil Schrauben mit zwei Windungen, jede von 180 Grad, wie z. B. A (Fig. 448). Die Fig. 449 zeigt die Schraube des französischen Schiffes „Napoleon"; man sieht, dass sie von vier schief stehenden Flügeln gebildet ist, welche etwa wie die Flügel einer Windmühle angeordnet sind. Die Fig. 450 zeigt, wie diese Schraube am Hintertheil des Schiffes, ganz nahe dem Steuerruder angebracht ist.

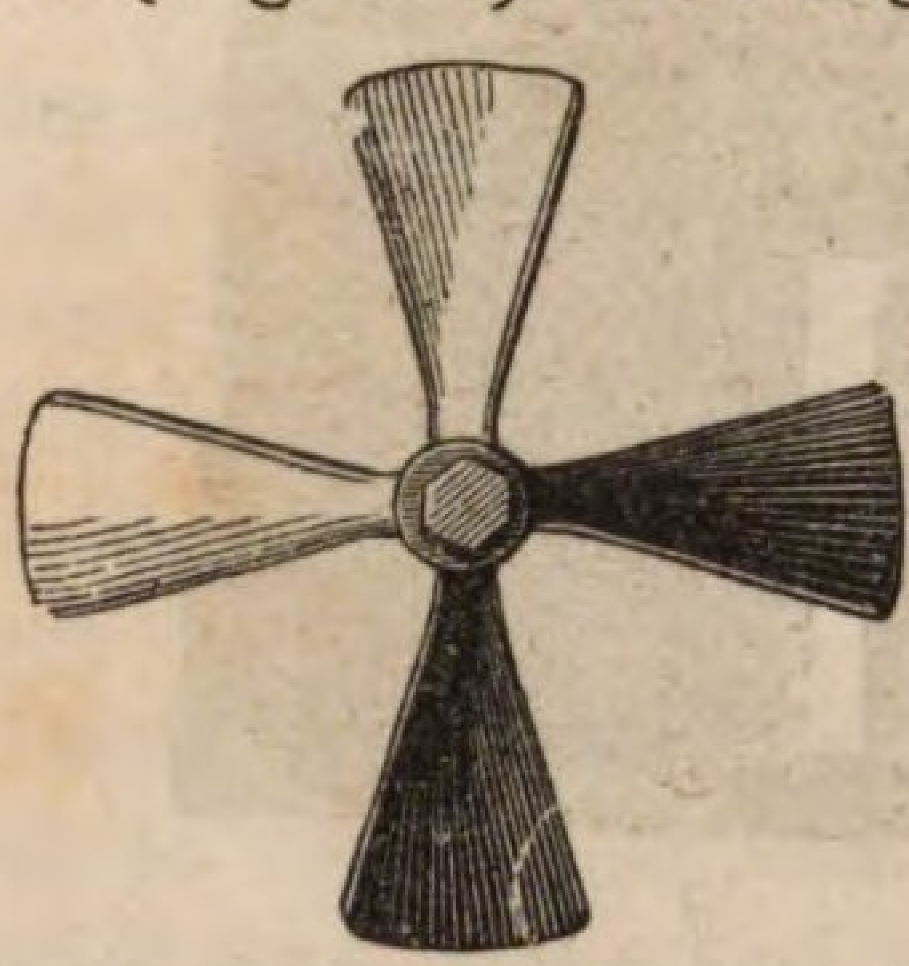


Fig. 449.

§. 353. Ob man sich der Ruder, der Räder oder der Schrauben bedient, um ein Schiff fortzubewegen, immer ist man genöthigt, eine bedeutend grössere Menge an Arbeit zu entwickeln als diejenige ist, welche zur Ueberwindung der Widerstände, welche sich der Bewegung des Schiffes entgegensetzen, gerade erforderlich wäre. Um die Ursache davon einzusehen, darf man nur bedenken, dass diese verschiedenen Fortbewegungsapparate den bewegenden Druck von Seite des Wassers nicht erfahren können, ohne dass sie zu gleicher Zeit einer gewissen Masse Wasser eine Geschwindigkeit in entgegengesetztem Sinne mit derjenigen, welche auf das Schiff übertragen werden soll, ertheilen. Der ganze Theil der Bewegungsarbeit, der dazu verwendet wird, diese Bewegung des Wassers hervorzubringen, ist reiner Verlust; und davon rührt es her, dass zwischen der Bewegungsarbeit, welche von dem Motor, der die Fortbewegungsapparate in Bewegung setzt, und der Widerstandsarbeit, welche durch die Widerstände, die das Schiff zu überwinden hat, veranlasst wird, ein sehr grosser Unterschied besteht.

Der Arbeitsverlust, von dem wir eben gesprochen haben, entspringt, wie man sieht, daraus, dass man, um das Schiff vorwärts zu schieben, den Stützpunkt an einem Körper nehmen muss, der selbst nicht fest ist, in dem Wasser nämlich, in welchem sich das

Schiff befindet. Wenn man sich auf feste Körper auf dem Grunde des Wassers stützen könnte, so würden diese Körper dem Drucke

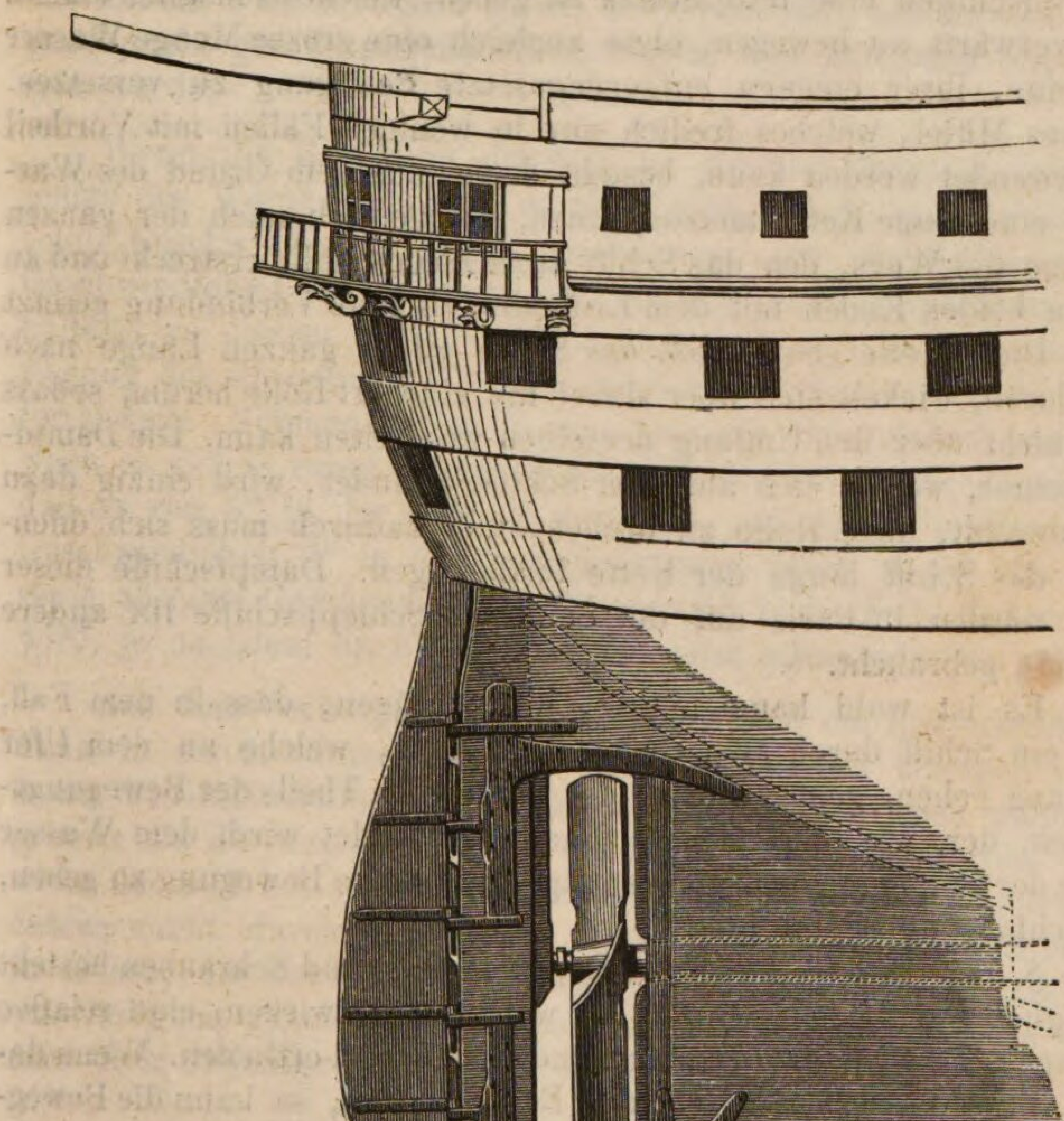


Fig. 450.

nicht nachgeben; sie würden also nicht in Bewegung gesetzt werden und auf diese Weise nicht einen so beträchtlichen Theil der von dem Motor geleisteten Arbeit in Anspruch nehmen. Der Vorgang würde dann ähnlich sein wie in dem Fall, wo ein Eisenbahnzug durch eine Lokomotive fortbewegt wird (§. 209). Die Treibräder einer Lokomotive wirken auf dieselbe Weise wie die Schaufelräder eines Dampfschiffes; aber anstatt dass sie sich wie diese gegen einen Körper stützen, der ihrem Drucke nachgibt, haben sie ihren Anhaltspunkt an den Schienen, welche auf dem Erdboden befestigt sind und folglich eine Bewegung, entgegengesetzt derjenigen, welche die Lokomotive dem Zug ertheilen soll, nicht annehmen können.

Um den grossen Verlust an Arbeit, von dem wir oben gesprochen haben, zu vermindern, war man auf ein Mittel bedacht, den Dampfschiffen eine feste Stütze zu geben, welche es möglich macht, sie vorwärts zu bewegen, ohne zugleich eine grosse Menge Wasser in eine, ihrer eigenen entgegengesetzte Bewegung zu versetzen. Dieses Mittel, welches freilich nur in wenigen Fällen mit Vortheil angewendet werden kann, besteht darin, auf dem Grund des Wassers eine lange Kette auszuspannen, welche sich nach der ganzen Länge des Wegs, den das Schiff zurücklegen soll, erstreckt und an ihren beiden Enden mit dem Erdboden in feste Verbindung gesetzt ist. Diese Kette geht durch das Schiff seiner ganzen Länge nach hindurch, wickelt sich aber dabei um eine Art Rolle herum, sodass sie nicht über den Umfang derselben weggleiten kann. Die Dampfmaschine, welche sich auf dem Schiffe befindet, wird einzig dazu angewandt, diese Rolle zu drehen, und dadurch muss sich offenbar das Schiff längs der Kette fortbewegen. Dampfschiffe dieser Art werden in Paris auf der Seine als Schleppschiffe für andere Schiffe gebraucht.

Es ist wohl kaum nöthig, hinzuzufügen, dass in dem Fall, wo ein Schiff durch Menschen oder Pferde, welche an dem Ufer entlang gehen, gezogen wird, der Verlust des Theils der Bewegungsarbeit, der, wie oben gesagt, darauf verwendet wird, dem Wasser eine der Bewegung des Schiffes entgegengesetzte Bewegung zu geben, gleichfalls nicht stattfindet.

§. 354. Die Wirkung der Ruder, Räder und Schrauben besteht lediglich darin, dem Schiffe, an welchem sie wirken, eine relative Bewegung gegen das es umgebende Wasser zu ertheilen. Wenn daher diese Wassermasse selbst in Bewegung ist, so kann die Bewegung des Schiffes, im Verhältniss zum Wasser aufgefasst, sehr verschieden von seiner absoluten Bewegung im Raume sein. Um diese absolute Bewegung des Schiffes zu finden, muss man dasselbe so betrachten, als wenn es zwei Bewegungen, von denen die eine die Bewegung des Wassers, auf welchem es schwimmt, die andere seine eigene Bewegung im Verhältniss zu diesem Wasser ist, zu gleicher Zeit besässe; indem man in jedem Augenblick die Geschwindigkeiten, welche es in Folge dieser beiden Bewegungen besitzt, in eine Resultante zusammenfasst (§. 117), erhält man seine absolute Geschwindigkeit im Raum.

Aus diesem Grunde muss ein Kahn, mit welchem man quer über einen Fluss in einer Richtung, die senkrecht auf der des fliessenden Wassers ist, setzen will, so gerichtet und die Ruder in demselben so gebraucht werden, als wenn man den Fluss in

schiefer Richtung hinauf fahren wollte. Wenn man ebenso überfahren würde, als wenn das Wasser in Ruhe wäre, so würde man das andere Ufer in einem Punkt erreichen, der, anstatt dem Ausgangspunkt gerade gegenüber zu liegen, weit unterhalb desselben sein würde.

Wenn die Bewegung des Schiffes dieselbe Richtung wie diejenige des Wassers, in dem es sich bewegt, hat, so ist seine absolute Geschwindigkeit gleich der Summe oder der Differenz der Geschwindigkeit des Wassers und seiner Geschwindigkeit im Verhältniss zu diesem letzteren, je nachdem es sich im Sinn der Bewegung des fliessenden Wassers oder in entgegengesetztem Sinne fortbewegt. Nehmen wir z. B. an, dass ein Dampfschiff, welches, wenn es sich in ruhig stehendem Wasser fortbewegt, eine Geschwindigkeit von 5^m in der Secunde annimmt, auf einem Flusse, dessen Geschwindigkeit 2^m in der Secunde beträgt, fährt, so ist klar dass seine absolute Geschwindigkeit 7^m oder 3^m in der Secunde betragen wird, je nachdem die Fahrt stromab- oder stromaufwärts geht.

Aus dem Vorhergehenden folgt, dass sich ein Dampfschiff nur dann in einem fliessenden Wasser stromaufwärts bewegen kann, wenn die Geschwindigkeit, welche es in ruhigem Wasser annimmt, grösser als die Geschwindigkeit des Flusses ist. Denn wenn diess nicht der Fall ist, so wird das Schiff, indem es stromaufwärts zu fahren sucht, durch das Wasser mit abwärts gerissen, und erhält in dieser, der beabsichtigten entgegengesetzten Richtung eine Geschwindigkeit gleich dem Ueberschuss der Geschwindigkeit des Wassers über diejenige, welche es im Vergleich mit dem Wasser hat.

§. 355. **Luftschifffahrt.** — Seitdem man in dem Luftballon ein Mittel gefunden hat, sich in die atmosphärische Luft zu erheben, hat man sich auch mit dem Gedanken beschäftigt, diese Erfindung zur Ausführung von Reisen zu benützen. Aber um diese Idee zu verwirklichen, muss man es dahin bringen, dem Ballon nach Belieben diese oder jene Richtung zu geben, man muss ihn mit einem Worte lenken oder steuern können. Es wurden schon viele und grosse Anstrengungen gemacht, um die Lösung dieser Aufgabe zu finden, aber bis heute sind die Resultate, welche erzielt worden sind, noch fast Null; man fragt sich sogar, ob es denn überhaupt möglich sei, dass diese Bemühungen einen Erfolg haben können. Indem wir auf diese berühmte Frage der Steuerung des Luftballons etwas tiefer eingehen, wird es uns nicht schwer werden, uns über Das, worauf es dabei eigentlich ankommt, genaue

Rechenschaft zu geben und zu sehen, inwiefern man darauf rechnen kann, eine vollständige Lösung der Frage zu finden.

Denken wir uns, dass sich ein Ballon in einer Schichte der Atmosphäre im Gleichgewicht befinde, und dass die Luft in dieser Schichte vollkommen in Ruhe sei. Ist es möglich mittelst eines Apparats, der in passender Weise an dem Ballon angebracht ist, eine fortschreitende Bewegung desselben in irgend einer beliebigen Richtung hervorzubringen? Es ist nicht schwer diese Frage zu beantworten. Zunächst ist wohl klar, dass man, sobald es möglich ist, eine Bewegung in einem gewissen Sinne hervorzubringen, dieselbe Bewegung auch in jeder anderen Richtung erzeugen kann, weil die Luft, in welcher sich der Ballon befindet, als unbewegt vorausgesetzt worden ist; überdiess darf man auch nur ein Steuerruder, ähnlich dem an einem Schiffe anwenden, um nach Belieben die Richtung einer einmal hervorgebrachten Bewegung ändern zu können. Es bleibt also nur übrig, zuzusehen, ob es möglich ist, dem Ballon eine fortschreitende Bewegung in der als unbewegt vorausgesetzten Luft geben zu können. Daran ist aber nicht zu zweifeln, wenn man bedenkt, dass man zu diesem Behufe an dem Ballon nur solche Vorrichtungen, welche den Flügeln der Vögel gleichen und sich wie diese bewegen können, anbringen darf. Apparate dieser Art, welche eine hin- und hergehende Bewegung besitzen und der Luft, wenn sie sich in dem einen Sinne bewegen, eine grössere Fläche darbieten, während sie dieselbe bei ihrer Bewegung im entgegengesetzten Sinne mit der schmalen Kante durchschneiden, sind sicher im Stande, dem Ballon eine fortschreitende Bewegung mitzutheilen. Anstatt dieser Art Ruder mit grosser Fläche könnte man sich auch der Schrauben, ähnlich denjenigen an den Schiffen (§. 352), bedienen. Aber wenn man die Grösse bedenkt, welche ein Ballon nothwendig haben muss, um einige Personen tragen zu können, und wenn man darnach die Grösse der Fläche bemisst, mit welcher er der atmosphärischen Luft in dieser Bewegung begegnet, so begreift man, dass ein solcher Fortbewegungsapparat, welcher Art er auch sei, indem er durch die Reisenden in Bewegung gesetzt wird, dem Luftballon jedenfalls nur eine geringe Geschwindigkeit zu geben im Stande sein wird. Man kann allerdings auf den Gedanken kommen, auf dem Luftballon eine Bewegungsmaschine, eine Dampfmaschine z. B. anzubringen. Aber indem man dadurch auf der einen Seite die Kraft, über die zur Bewegung der Fortbewegungsapparate verfügt werden kann, vergrössert, vermehrt man auf der anderen Seite die Belastung des Ballons; die Folge davon ist, dass auch das Volumen des letzteren

zunehmen muss, und dadurch wird wiederum eine Vergrösserung des Widerstandes, der zu überwinden ist, um den Ballon in bestimmter Geschwindigkeit zu erhalten, hervorgebracht.

Es ist somit sehr wahrscheinlich, dass, welches auch die getroffene Einrichtung sei, die Geschwindigkeit, welche man dem Ballon in ruhiger Luft geben könnte, doch immer nur klein sein würde. Doch nehmen wir an, dass man hoffen dürfe, durch Anwendung einer anderen Kraft als der der Reisenden selbst eine schnellere Bewegung hervorbringen zu können so müsste doch der ganze Ballon viel grössere Dimension erhalten als die, welche man bis jetzt angewandt hat; der Fortbewegungsapparat selbst müsste eine sehr bedeutende Grösse erhalten und dabei so leicht als möglich sein; dadurch wird er aber einerseits nicht nur sehr schwierig zu handhaben, sondern er ist auch häufigen Beschädigungen ausgesetzt, in Folge deren er oft ausser Stand sein würde, seine Dienste zu thun.

Sehen wir jetzt, was stattfinden würde, wenn man den Ballon inmitten einer Luftschichte fortbewegen wollte, die selbst in Bewegung begriffen ist. Der Ballon würde offenbar eine absolute Geschwindigkeit, gleich der Resultante aus der Geschwindigkeit der Luft und seiner eigenen im Verhältniss zu dieser Schichte annehmen (§. 354). Damit sich folglich der Ballon in der gewünschten Richtung bewegen könnte, dürfte seine Geschwindigkeit in Bezug auf die umgebende Luft im Verhältniss zur Geschwindigkeit dieser Luft nicht zu klein sein. Wenn man z. B. dem Ballon eine Bewegung ertheilen wollte, die derjenigen des Luftstromes, in welchem er sich befindet, gerade entgegengesetzt wäre, so müsste seine Geschwindigkeit in Bezug auf die ihn umgebende Luft grösser als die Geschwindigkeit dieses Luftstroms sein. Man sieht daraus, dass der Ballon, sobald er sich nicht mehr in ganz ruhiger oder doch in einer Luft befindet, die nur eine sehr geringe Geschwindigkeit besitzt, nicht mehr beliebig in jeder Richtung fortbewegt werden kann. Nun weiss man aus den Erfahrungen, welche die Luftschiffer gemacht haben, dass die Luftschichten, in welchen sie ihre Reisen ausführten, keineswegs so geringe Geschwindigkeit besassen. Gewöhnlich wurde der Luftballon in weniger als einer Stunde um eine grosse Zahl von Kilometer von seinem Ausgangspunkt fortgeführt. Die Aufgabe der willkürlichen Steuerung des Luftballons ist folglich einer praktischen Lösung nur unter Umständen fähig, die nur ausnahmsweise in der atmosphärischen Luft stattfinden. In den meisten Fällen kann der Ballon, der mit einem Fortbewegungsapparat versehen ist, nicht mit Erfolg gegen die Bewegung der

Luft, in welcher er sich befindet, ankämpfen. Fügen wir hinzu, dass man nicht hoffen darf, den Gedanken einer wirklichen Luftschifffahrt selbst unter der Bedingung zu verwirklichen, dass man für die Zeit der Abreise abwarten wollte, bis sich die Atmosphäre in günstigen Umständen befände; denn auf der einen Seite würde man dabei oft genöthigt sein, sehr lange warten zu müssen, und andererseits würde es nur sehr selten der Fall sein, dass die Atmosphäre während der ganzen Dauer der Reise die für dieselbe günstige Beschaffenheit behielte.

Wir können zwischen der gewöhnlichen Schifffahrt und der Luftschifffahrt eine Parallele ziehen. Die Kähne wie die Schiffe, welche durch Ruder, Räder oder Schrauben bewegt werden, können in ruhigem Wasser jede beliebige Richtung erhalten; sie können auch in einem fliessenden Wasser nach Belieben gesteuert werden, unter der Bedingung jedoch, dass die Geschwindigkeit dieses Wassers nicht zu gross ist. Dasselbe ist bei einem Luftballon der Fall, der mit einem Fortbewegungsapparat versehen ist; er kann nach jeder Richtung hin bewegt werden, so lange die ihn umgebende Luft entweder ganz unbeweglich, oder doch nur von einer Geschwindigkeit ergriffen ist, die eine gewisse Grenze nicht übersteigt. Aber die meisten fliessenden Wasser haben eine Geschwindigkeit, die klein genug ist, dass ein Schiff noch stromaufwärts fahren kann; die Strömungen der atmosphärischen Luft dagegen sind gewöhnlich viel zu schnell, als dass man hoffen dürfte, mit einem Ballon, der mit einem Fortbewegungsapparat versehen ist, dagegen ankämpfen zu können. Unter den Verhältnissen, wie sie gewöhnlich in der atmosphärischen Luft stattfinden, ist die Fahrt eines Luftballons, der nach Belieben gelenkt werden soll, mit der Fahrt eines Dampfschiffes auf einem reissenden Bergstrom zu vergleichen.

Maschinen zum Heben der Flüssigkeiten.

§. 356. Das Heben von Flüssigkeiten und hauptsächlich des Wassers auf eine gewisse Höhe nimmt unter den verschiedenen Arbeiten, welche mittelst Maschinen ausgeführt werden, eine hervorragende Stelle ein. Bald hat man das Wasser aus grösseren oder geringeren Tiefen unter der Oberfläche der Erde heraufzuschaffen, um in die Räume, welche es ausfüllt, gelangen und darin arbeiten zu können, sei es behufs der Fundation von Bauten, sei es zum Zwecke der Ausbringung von Erzen; bald will man einen Theil des Wassers eines Flusses nur auf eine geringere Höhe heraufheben, um es zur Bewässerung der umliegenden Grundstücke

zu benützen; ein andermal wieder will man Wasser oder verschiedene andere Flüssigkeiten, sei es zum häuslichen Gebrauch, sei es zur Verwendung in industriellen Etablissements in die Höhe fördern. Um diesen verschiedenen Zwecken zu dienen, hat man eine grosse Anzahl von Maschinen erdacht, von denen wir nun die wichtigsten kennen lernen wollen.

Die Arbeit, welche nothwendig ist, um eine gewisse Menge Flüssigkeit auf eine bestimmte Höhe zu heben, wird erhalten, indem man das Gewicht der zu hebenden Flüssigkeit, ausgedrückt in Kilogrammen, mit der Höhe, auf welche sie gehoben werden muss, diese Höhe in Metern gemessen, multiplicirt. Die so erhaltene Zahl gibt die Bewegungsarbeit, welche man an der Maschine, welcher Art sie auch sei, aufwenden muss, damit sie die Nutzarbeit, welche der Erhebung der Flüssigkeitsmasse auf die gewünschte Höhe entspricht, liefern kann, vorausgesetzt, dass keinerlei Verluste an Arbeit mit der Anwendung dieser Maschine verbunden wären. In Wirklichkeit aber ist die Bewegungsarbeit, welche an einer Maschine, die zum Heben einer Flüssigkeit bestimmt ist, aufgeboten werden muss, immer grösser als die Nutzarbeit, welche diese Maschine leisten kann, weil es unmöglich ist die Verluste an Arbeit vollständig zu vermeiden. Diese Verluste rühren her: 1) von der Reibung der festen Theile der Maschine aneinander; 2) von den Stössen, welche zwischen diesen festen Theilen stattfinden können; 3) von der Reibung der Flüssigkeit an den Wänden, zwischen welchen sie sich bewegt; 4) von plötzlichen Aenderungen, welche in der Grösse oder Richtung der Geschwindigkeit der Flüssigkeit vorkommen können; 5) endlich von der Geschwindigkeit, welche die Flüssigkeit noch besitzt, wenn sie in der Höhe, auf welche sie gehoben werden sollte, angekommen ist, und welche der Flüssigkeit nur mit Aufwand eines Theils der Bewegungsarbeit der Maschine gegeben werden kann. Wenn es sich also um die Anlegung einer Maschine zum Heben einer Flüssigkeit handelt, so muss man diese verschiedenen Ursachen von Arbeitsverlusten wohl im Auge haben, um ihre Wirkung mittelst zweckdienlicher Einrichtungen so viel als möglich zu vermindern.

Die verschiedenen Maschinen, welche zum Heben der Flüssigkeiten dienen, unterscheiden sich sowohl nach der grösseren oder geringeren Menge der Flüssigkeit, welche sie fortschaffen sollen, als auch nach der mehr oder weniger beträchtlichen Höhe, auf welche sie die Flüssigkeit heben müssen, von einander. Doch gibt es auch mehrere Arten dieser Maschinen, die ohne Unterschied unter denselben Umständen zur Erreichung desselben Zwecks angewendet

werden können. Um die Wahl zwischen diesen verschiedenen Maschinen zu treffen, muss man sie 1) unter dem Gesichtspunkt des gesammten Arbeitsverlustes, welcher durch die eigenthümliche Construktion einer jeden von ihnen bedingt ist, und 2) unter dem Gesichtspunkt der leichteren oder schwierigeren Aufstellung sowohl, als auch der mehr oder weniger bequemen Handhabung betrachten. Wenn die Maschine nur für einige Zeit in Thätigkeit bleiben und dann wieder entfernt werden soll, so muss man auf die Leichtigkeit der Aufstellung das Hauptgewicht bei der Wahl legen. Wenn im Gegentheil die Maschine an dem Orte, wo sie aufgestellt wird, bleiben und dortselbst auf längere Zeit ihre Thätigkeit ausüben soll, so muss man sein Augenmerk besonders darauf richten, die Arbeitsverluste so viel als möglich zu vermindern, und daher nur eine solche Maschine wählen, bei welcher dieselben so gering als möglich sind.

§. 357. **Paternosterwerk.** — Das Paternosterwerk ist eine Maschine, welche dazu bestimmt ist, das Wasser nur auf eine geringere Höhe zu heben. Man wendet es besonders zum Ausschöpfen des Wassers in den Fällen an, wo man unter dem Niveau eines Flusses zu arbeiten hat, wie z. B. bei der Fundirung von Brücken oder Wassermühlen. Zu diesem Zwecke sperrt man den Theil des Wassers, in welchem gearbeitet werden soll, durch einen sogenannten Fangdamm von dem übrigen Wasser ab und schöpft alsdann das Wasser aus dem so umschlossenen Raum mittelst des Paternosterwerks. Diese letztere Operation muss während der ganzen Dauer der Arbeiten immer wieder von Neuem vorgenommen werden, um das Wasser, welches immer durch die Wände des Fangdammes dringt und selbst aus der Sohle des Flusses quillt, und das, wenn es sich anhäufen würde, die Arbeiten stören müsste, wieder fortzuschaffen.

Das Paternosterwerk besteht aus einer Kette ohne Ende (Fig. 451), deren einzelne Glieder von Eisen mittelst Scharnieren aneinander befestigt sind, und die ihrer ganzen Länge nach mit Scheiben versehen ist, welche in der Mitte je eines Gliedes senkrecht auf demselben festsitzen. Diese Kette geht über den Umfang zweier Räder A und B. Indem man das Rad A herumdreht, wird die Kette mit fortgezogen und dreht nun ihrerseits das Rad B. Bei dieser Bewegung steigen die verschiedenen Theile der Kette auf der einen Seite in die Höhe, um auf der andern Seite wieder abwärts zu gehen, wie es die Pfeile in der Figur andeuten. Der aufsteigende Theil der Kette befindet sich innerhalb einer Röhre, deren Querschnitt nur sehr wenig grösser als die an der Kette be-

festigten Scheiben ist, und deren unteres Ende in das auszuschöpfende Wasser taucht. Jedesmal, wenn eine Scheibe, indem sie empor steigt, in das Innere der Röhre eintritt, isolirt sie über sich eine gewisse Wassermenge, welche in der Röhre enthalten war; in dem Maasse, als dann die Scheibe in die Höhe steigt, hebt sie dieses Wasser mit sich empor und fördert es so bis zum obersten Theil der Röhre, wo es seitwärts ausfliesst. Um die Reibung zu vermindern, sind die Scheiben etwas kleiner als der innere Querschnitt der Röhre, aber diese Differenz muss so klein als möglich sein, damit nicht zu viel Wasser durch die Zwischenräume zwischen den Scheiben und der Röhre fällt und die daraus folgende Verminderung der Menge des gehobenen Wassers nicht zu beträchtlich wird.

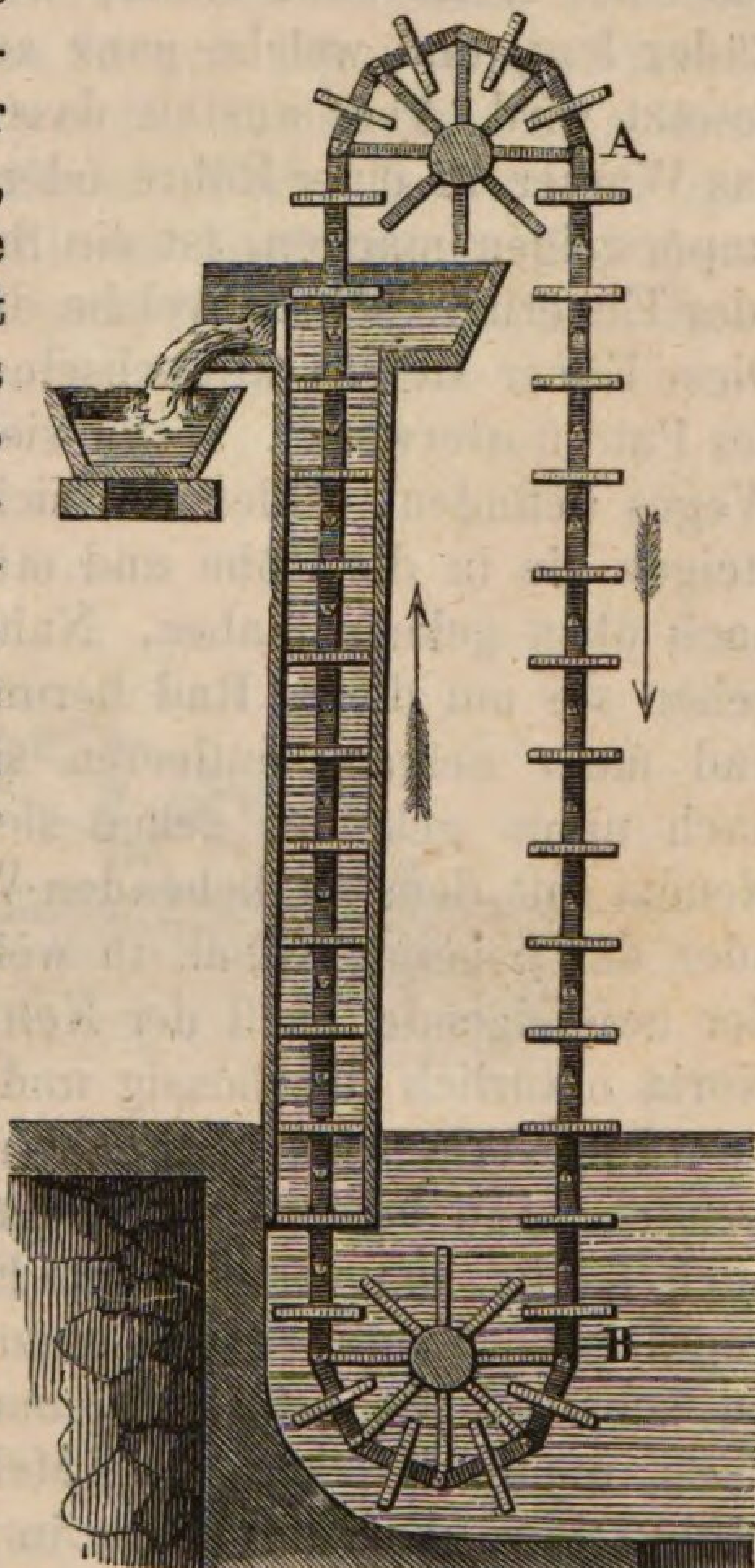


Fig. 451.

Häufig gibt man dem Paternosterwerk, anstatt es, wie wir eben gesehen haben, vertikal zu stellen, eine geneigte Lage (Fig. 452). In diesem Fall kann die obere Seite der Röhre ganz abgenommen sein, sodass sich dieselbe in einen einfachen Kanal von Holz verwandelt, in welchem der eine Theil der Kette ohne Ende, welche das Paternosterwerk bildet, aufwärts steigt.

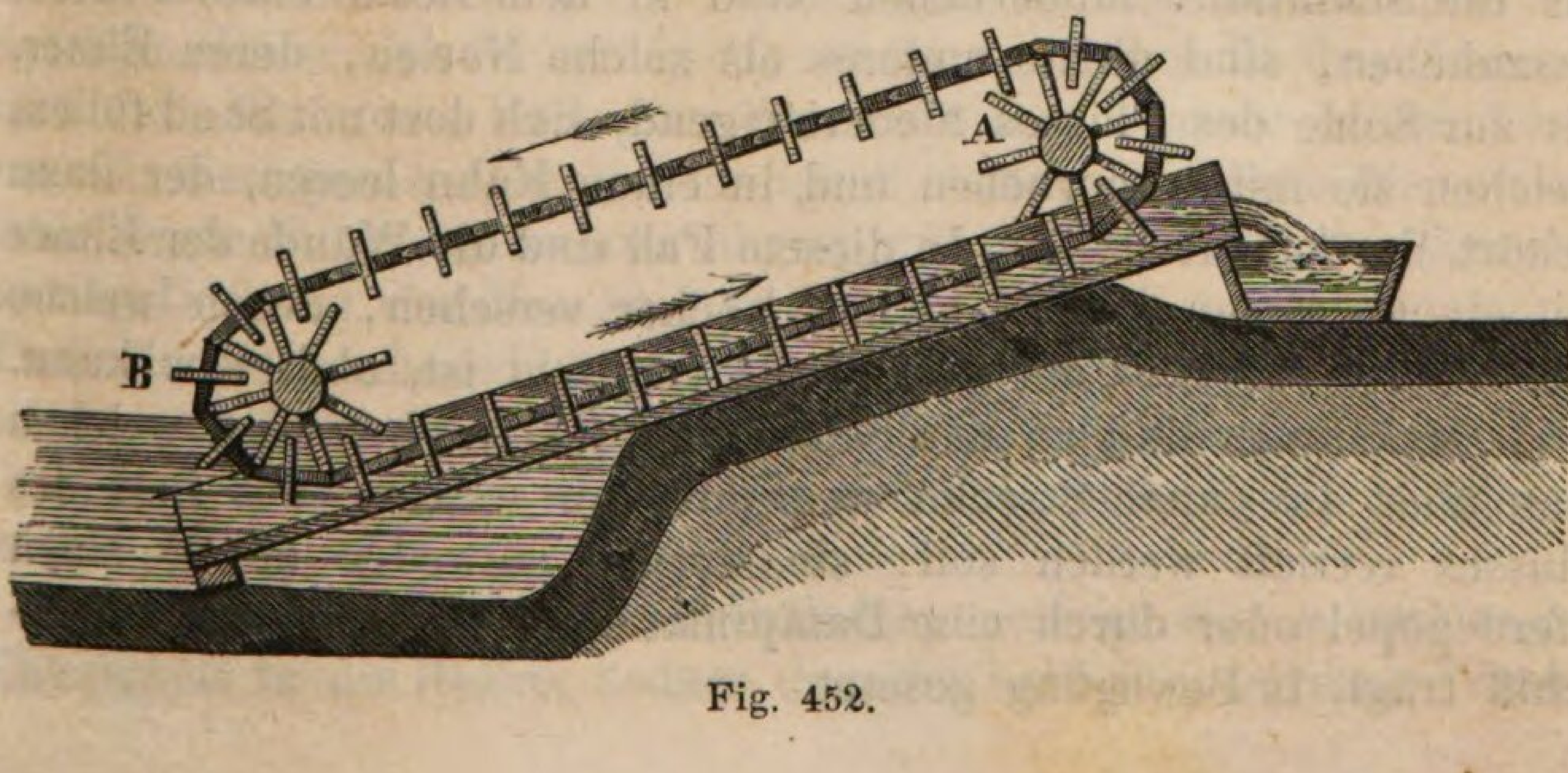


Fig. 452.

§. 358. **Noria.** — Die Noria ist eine Maschine, welche grosse Aehnlichkeit mit dem Paternosterwerk hat. Sie besteht wie dieses aus einer Kette ohne Ende, welche sich um den Umfang zweier Räder legt, und welche ganz auf die nämliche Weise in Bewegung gesetzt wird. Aber anstatt dass diese Kette Scheiben trägt, welche das Wasser in einer Röhre oder in einem geneigten Kanal über sich emporsteigen machen, ist sie ihrer ganzen Länge nach mit Bechern oder Eimern versehen, welche die zu hebende Flüssigkeit enthalten. Diese Eimer steigen abwechselnd auf und nieder wie die Scheiben des Paternosterwerks. Wenn sie sich an dem untersten Theil ihres Weges befinden, füllen sie sich mit Wasser; mit diesem Wasser steigen sie in die Höhe und müssen dabei natürlich ihre Oeffnung nach oben gekehrt haben. Nahe dem oberen Rade angekommen, gehen sie um dieses Rad herum, und indem sie sich dabei mehr und mehr neigen, entleeren sie sich allmälig; mit der Oeffnung nach unten gekehrt, gehen sie nun abwärts, um sich unten von Neuem mit dem zu hebenden Wasser zu füllen. Die vertikale Röhre oder der geneigte Kanal, in welchem sich bei dem Paternosterwerk der aufsteigende Theil der Kette ohne Ende befindet, ist bei der Noria natürlich überflüssig und desshalb auch nicht vorhanden.

Die Noria wird nicht allein zum Schöpfen des Wassers angewendet. Man bedient sich ihrer in den industriellen Etablissements auch häufig, um verschiedene Flüssigkeiten, selbst feste Körper in gepulvertem Zustande von einem Stockwerk in ein höher gelegenes zu schaffen. So gebraucht man in den Getreidemühlen die Noria dazu, um die Mischung von Mehl und Kleie, wie sie zwischen den Mühlsteinen hervorkommt, in die Höhe zu fördern und in den Apparat zu führen, welcher die Trennung dieser beiden Substanzen bewerkstelligen soll.

Die Baggermaschinen, deren man sich bedient, um den für die Schifffahrt hinderlichen Sand in dem Bette eines Flusses auszuheben, sind nichts anderes als solche Norien, deren Eimer, bis zur Sohle des Flusses niedersteigend, sich dort mit Sand füllen, welchen sie mit emporheben und in einen Kahn leeren, der dazu gehört, ihn fortzuschaffen. In diesem Fall sind die Wände der Eimer mit einer grossen Anzahl kleiner Löcher versehen, durch welche das Wasser, welches mit dem Sande gemischt ist, abfliessen kann. Diese Maschinen sind an den Seiten eines Kahnes befestigt, welchen man über die ganze Strecke wegführt, an welcher das Bett des Flusses vertieft werden soll; sie werden entweder durch einen Pferdegöpel oder durch eine Dampfmaschine, welche das Baggerschiff trägt, in Bewegung gesetzt.

§. 359. **Die Archimedische Wasserschraube.** — Um das Wasser aus geringeren Tiefen herauszuschaffen, wendet man auch sehr häufig eine Maschine in Form einer Schraube an, die schon von Archimedes erfunden worden ist und daher seinen Namen trägt. Um uns klar zu machen, in welcher Weise diese Maschine wirkt, reduciren wir sie auf ihre einfachste Form. Denken wir uns dass eine Glasröhre so um einen Cylinder gewickelt werde, dass sie die Form einer Schraubenlinie annimmt (Fig. 453), und dass dem

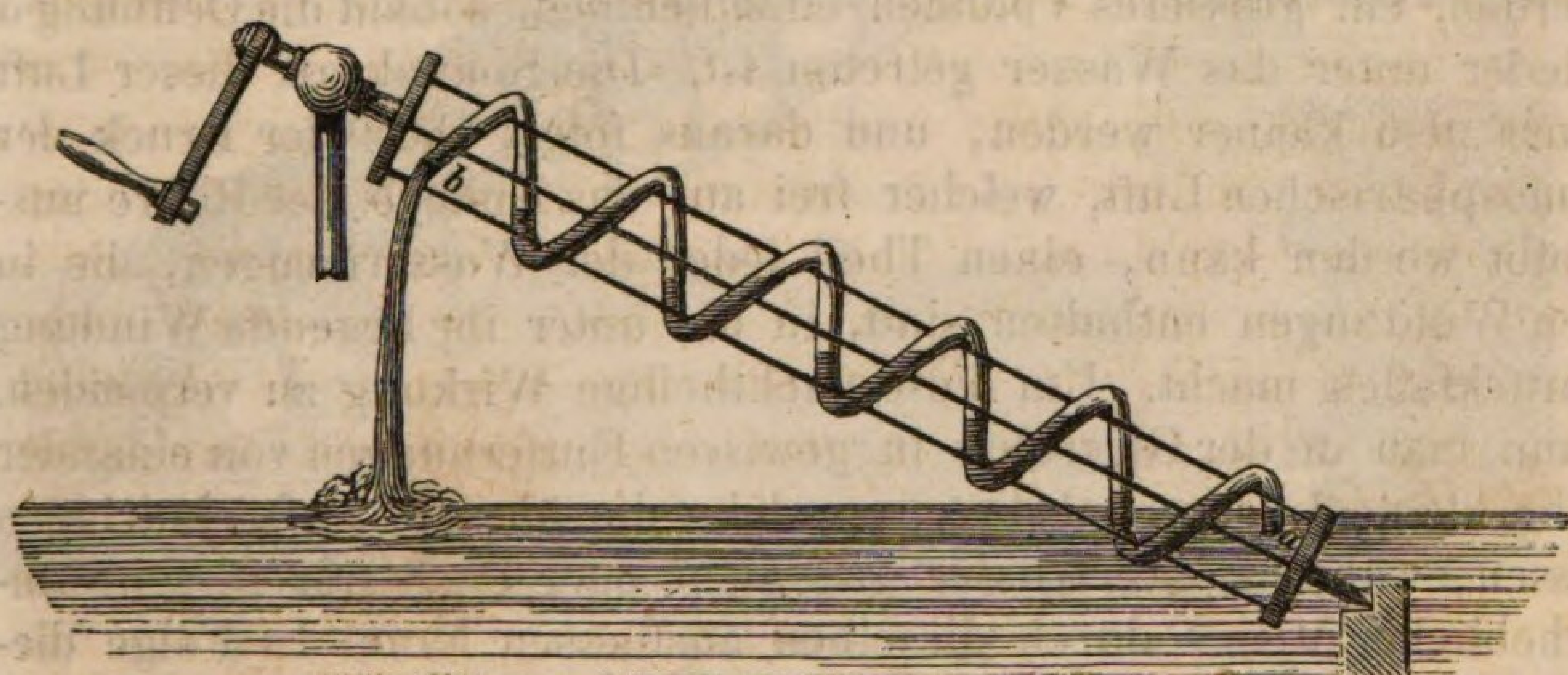


Fig. 453.

so gebildeten Apparat, in eine geneigte Lage gebracht, mittelst einer an seinem oberen Ende befestigten Kurbel eine Rotationsbewegung um die Axe des Cylinders ertheilt werden kann. Wenn man diese Maschine dreht, so beschreibt das untere Ende *a* der Glasröhre die Peripherie eines Kreises, dessen Ebene, senkrecht auf der Axe des Cylinders stehend, gegen den Horizont geneigt ist. Die Peripherie dieses Kreises taucht theilweise in das empor zu hebende Wasser, theilweise ragt sie über das Niveau desselben heraus; das Ende *a* der Glasröhre dringt also einmal in dieses Wasser ein, dann tritt es über den Spiegel desselben hervor, um von Neuem wieder unterzutauchen u. s. f. Vorausgesetzt, dass die Maschine im richtigen Sinne gedreht wird, so enthält die Röhre in dem Augenblick, wo das untere Ende derselben aus dem Wasser wieder hervortritt, eine gewisse Menge Flüssigkeit, welche auf diese Weise von der übrigen Flüssigkeitsmasse abgesperrt wird und bei der fortgesetzten Drehung der Maschine in jedem Augenblick den untersten Theil der Schraubenwindung, in welcher sie sich eben befindet, einnimmt. Sie steigt so während der Drehung allmälig längs des Cylinders empor, um endlich an dem obersten Ende desselben auszufliessen.

Bei jeder Umdrehung des Cylinders gelangt eine neue Menge Flüssigkeit in die Röhre, sodass dieselbe bald in jeder ihrer Wind-

ungen Flüssigkeit enthält. Diese verschiedenen Wassermassen, die gleichzeitig gehoben werden, sind durch Zwischenräume, die mit Luft ausgefüllt sind, von einander getrennt. Die Luft drang in die Röhre ein, während sich ihr Ende *a* über der freien Oberfläche der zu hebenden Flüssigkeit befand. Wenn man den Gang der Maschine mit Aufmerksamkeit verfolgt, so sieht man, dass in Folge der Neigung der Axe der Schraubenlinie, die Luftmengen, die auf diese Weise in die Röhre eingeführt wurden, gezwungen werden, ein grösseres Volumen einzunehmen, sobald die Oeffnung *a* wieder unter das Wasser getreten ist. Die Spannkraft dieser Luft muss also kleiner werden, und daraus folgt, dass der Druck der atmosphärischen Luft, welcher frei auf das Ende *b* der Röhre ausgeübt werden kann, einen Theil jeder der Wassermengen, die in den Windungen enthalten sind, in die unter ihr liegende Windung zurückfallen macht. Um diese nachtheilige Wirkung zu vermeiden, kann man in der Glasröhre in gewissen Entfernungen von einander sehr kleine Löcher anbringen, welche die äussere Luft eindringen lassen, während das Wasser gar nicht oder doch nur in sehr unerheblicher Menge durch dieselben ausfliessen kann. In Folge dieser Anordnung dringt in dem Moment, wo sich die zwischen zwei getrennten Wasserportionen enthaltene Luft auszudehnen strebt, äussere Luft durch einige jener Löcher herein, und die Spannkraft der inneren Luft sinkt nur sehr unbedeutend unter die der äusseren herab.

Es ist unerlässlich, dass das Ende *a* der Glasröhre bei jeder Umdrehung des Cylinders über den Spiegel des zu hebenden Wassers hervor tritt; denn ohne dieses würde das Wasser, welches in die Röhre eingedrungen ist, nicht von der übrigen Flüssigkeit getrennt und könnte daher auch nicht gehoben werden; man sieht in der That, dass in diesem Fall die Glasröhre und das untere Reservoir, in welches sie taucht, ein System von communicirenden Gefässen bilden würden, und dass folglich die freien Oberflächen in der Röhre wie im Reservoir stets in derselben Höhe stehen müssten. Die kleinen Löcher, welche längs der Röhre angebracht sind, und von denen wir soeben gesprochen haben, können indessen dieses Resultat modificiren, indem sie der äusseren Luft den Zutritt in die Röhre gestatten und in derselben eine gewisse Wassermenge von der übrigen Flüssigkeit absondern.

Die Archimedischen Wasserschrauben, wie man sie in der Praxis zum Schöpfen des Wassers anwendet, sind nicht so construirt wie diejenige, von der wir eben gesprochen haben. Sie bestehen aus einem inneren massiven Cylinder, der, so zu sagen, den Kern bildet

(Fig. 454), um welchen sich eine Scheidewand in Form einer Schraubenfläche seiner ganzen Länge nach herumwindet. Um diese Schei-

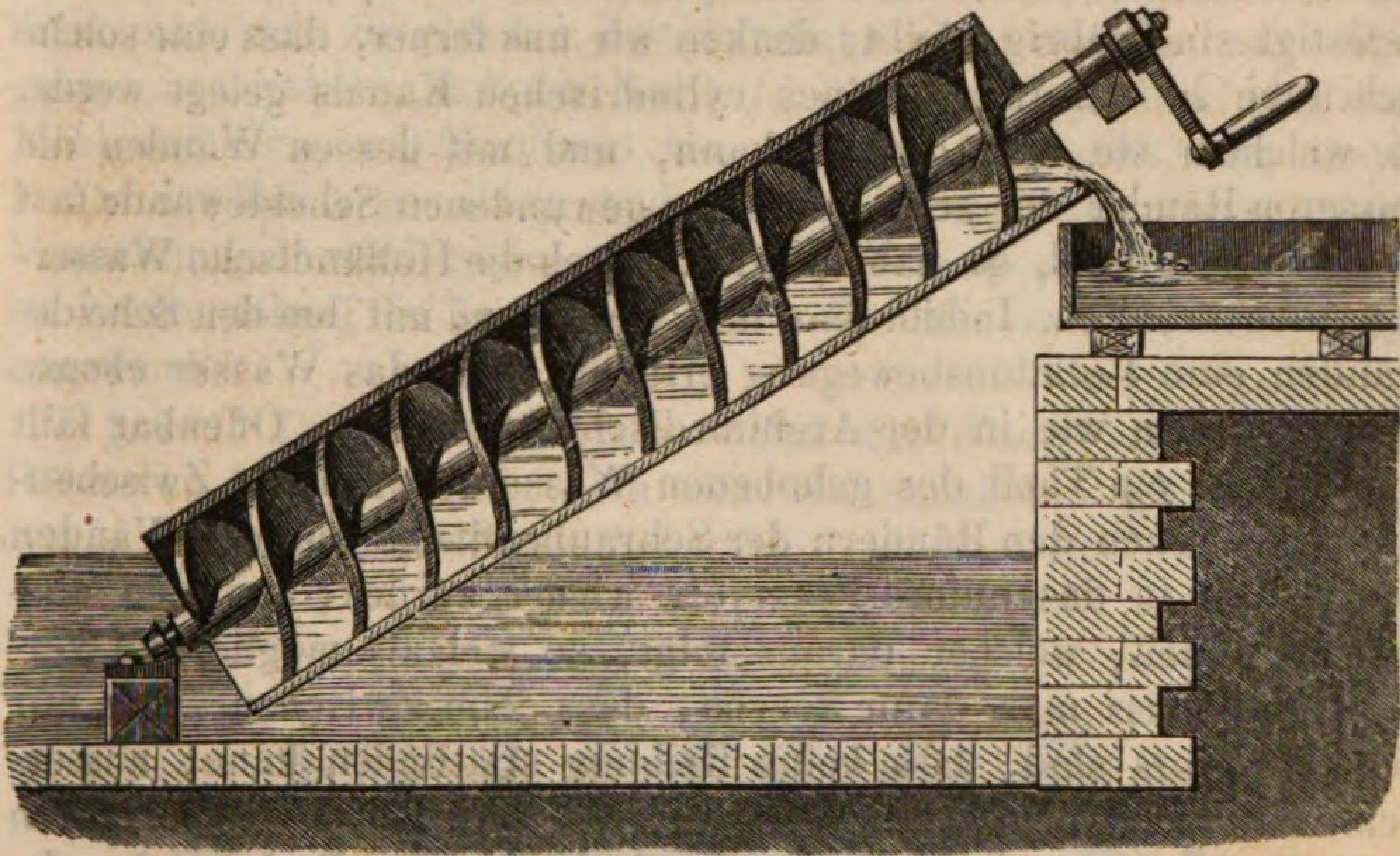


Fig. 454.

dewand ist eine cylindrische Hülse gelegt und an den Rändern derselben befestigt. Die vordere Hälfte dieses Hohlcylinders ist in der Abbildung abgenommen gedacht, um die innere Anordnung, sowie die Art und Weise, wie sich das Wasser in den verschiedenen Abtheilungen, welche durch die Windungen der Schraubenfläche gebildet werden, stellt, sichtbar zu machen. Häufig nimmt man anstatt einer Schraubenfläche deren zwei und selbst drei, die sich alle nach der ganzen Länge des Kerns in dem nämlichen Sinne um denselben herum winden und fortwährend parallel zu einander bleiben, ähnlich wie bei den mehrfachen Schrauben (§. 72). In Fig. 454 ist die Schraube aus zwei Windungen dieser Art gebildet. Gewöhnlich kann bei den Archimedischen Wasserschrauben, die in dieser Weise construirt sind, die Luft im Innern längs des ganzen Kerns frei circuliren, und man begegnet daher bei ihnen den Uebelständen, welche von der Ausdehnung der Luft, die zwischen den, in zwei aufeinanderfolgenden Windungen enthaltenen Wassermassen sich befindet, nicht mehr. Aus demselben Grunde ist es auch nicht mehr nothwendig erforderlich, dass die untere Basis des Cylinders nur theilweise in das zu hebende Wasser taucht.

§. 360. **Die Holländische Wasserschraube.** — In Holland wendet man häufig eine Schöpfmaschine an, die nichts weiter als eine Modification der Archimedischen Wasserschraube ist. Denken wir uns, dass man in dieser letzteren (Fig. 454) die cylindrische

Hülse, welche die Räume zwischen den Windungen der Schraubenflächen von aussen absperrt, weggenommen habe, sodass nichts als diese Flächen selbst und der cylindrische Kern, an welchem sie befestigt sind, übrig bleibt; denken wir uns ferner, dass eine solche Schraube in das Innere eines cylindrischen Kanals gelegt werde, in welchem sie sich drehen kann, und mit dessen Wänden die äusseren Ränder der schraubenartig gewundenen Scheidewände fast in Berührung sind, so haben wir dadurch die Holländische Wasserschraube erhalten. Indem man dem Kerne und mit ihm den Scheidewänden eine Rotationsbewegung ertheilt, wird das Wasser ebenso emporgehoben wie in der Archimedischen Schraube. Offenbar fällt hier immer ein Theil des gehobenen Wassers durch die Zwischenräume zwischen den Rändern der Schraubenfläche und den Wänden des Kanals in das untere Reservoir wieder zurück; um den Verlust an Arbeit, welcher daraus folgt, so viel als möglich zu vermindern, muss man dafür sorgen, dass jene Zwischenräume nur eben so gross sind, dass keine Reibung stattfinden kann; ausserdem wird der Uebelstand, den wir eben bezeichnet haben, durch einen Vortheil, den die Holländische vor der Archimedischen Schraube voraus hat, wieder aufgewogen. Bei der letzteren Maschine ruht das ganze Gewicht des Wassers, welches sie enthält, auf der Axe, um welche sie sich dreht; bei der Holländischen Schraube dagegen tragen die Wände des Kanals, welcher sie theilweise umschliesst, eine der Componenten des Gewichts dieses Wassers, diejenige nämlich, welche senkrecht auf die Axe des Kanals gerichtet ist; die Schraube selbst hat also nur noch die Componente, die parallel zu ihrer Axe ist, zu tragen. Daraus folgt, dass die Reibung der Axe in ihren Lagern bei der Holländischen Schraube weniger gross ist als bei der Archimedischen.

Die Wasserschrauben der letztbeschriebenen Art werden in grosser Anzahl in Holland angewandt, um das Wasser, welches sich in tief liegendem Terrain, sei es in Folge des Regens, sei es durch Filtration durch die Erde hindurch, angesammelt hat, über die Dämme hinwegzuschaffen. Gewöhnlich werden diese Maschinen durch Windmühlen getrieben.

Schrauben, ähnlich wie die Holländische, wendet man auch häufig an, um feste Körper in pulverförmigem Zustande auf geringere Entfernung fortzuschaffen. Zu dem Ende legt man eine solche Schraube horizontal in eine Art von Kanal, dessen ganze Länge sie einnimmt. Diese Schraube, welcher eine drehende Bewegung um ihre Axe gegeben wird, ergreift die in einem Behälter, der sich an einem Ende des Kanals befindet, angesammelte pulverförmige Masse:

diese geräth dadurch zwischen die Windungen der Schraube und wird auf diese Weise bis zum anderen Ende des Kanals geführt, wo sie in einen zweiten Behälter fällt. In den Getreidemühlen bedient man sich zu gleicher Zeit der Schraube, von der wir eben gesprochen haben, und der Noria (§. 358), um die Mischung von Mehl und Kleie, welche direkt von den Steinen kommt, von einem Punkt der Mühle zu einem anderen zu schaffen; die erstere dieser Vorrichtungen wird vorzüglich für den Transport jener Mischung im horizontalen, die letztere dagegen für den im vertikalen Sinne angewendet.

§. 361. **Das Wurfrad.** — Um das Wasser auf geringere Höhen zu heben, bedient man sich manchmal eines grossen Rades, dessen Umfang mit ebenen Schaufeln versehen ist. Die Fig. 455

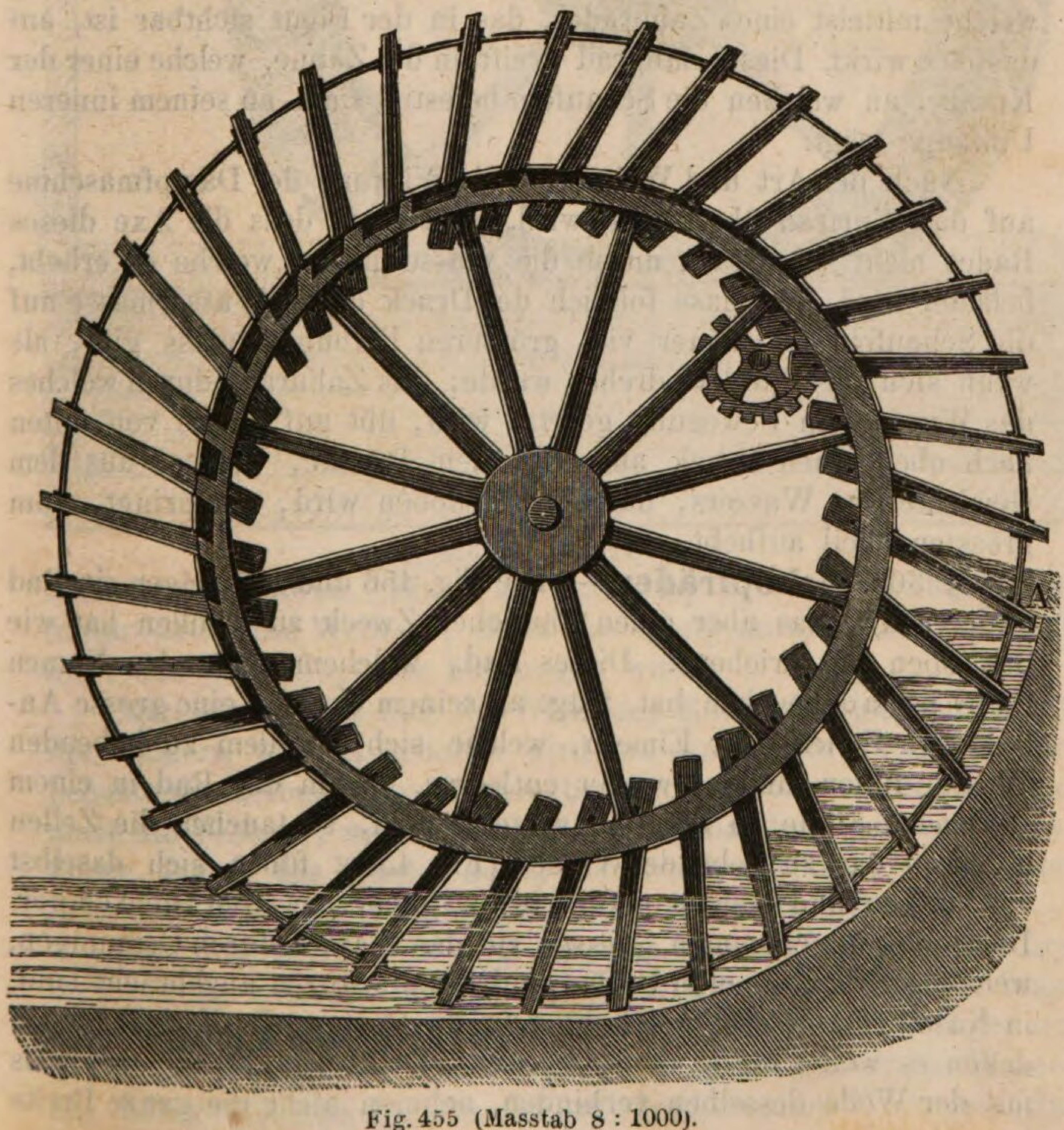


Fig. 455 (Masstab 8 : 1000).

zeigt ein Rad dieser Art, welches Wasser aus der Seine in das den Hafen zu St. Quen bei Paris bildende Bassin hebt. An der unteren Seite des Rades bewegen sich die Schaufeln, indem sie aufwärts steigen, in einem cylindrischen Gerinne oder Kropf; zu ihren beiden Seiten befindet sich eine vertikale Mauer, welche sich bis zu einer genügenden Höhe erhebt, sodass die Schaufeln ringsum eingeschlossen sind und das Wasser, welches sich zwischen ihnen befindet, gezwungen wird, ihrer aufsteigenden Bewegung zu folgen. Wenn eine mit Wasser beladene Schaufel bei A ankommt, so ergiesst sich dieses Wasser über den Rücken des Gerinnes in das Bassin. Um dieses Abfliessen des Wassers zu erleichtern, hat man den Schaufeln im Verhältniss zu den Radien, welchen sie entsprechen, eine gewisse Neigung gegeben.

Das Rad wird durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt, welche mittelst eines Zahnrades, das in der Figur sichtbar ist, auf dasselbe wirkt. Dieses Zahnrad greift in die Zähne, welche einer der Kränze, an welchen die Schaufeln befestigt sind, an seinem inneren Umfange trägt.

Nach der Art und Weise, wie die Wirkung der Dampfmaschine auf das Wurfrad übertragen wird, sieht man, dass die Axe dieses Rades nicht sehr stark durch die Wassermasse, welche es erhebt, belastet wird, und dass folglich der Druck dieser Wassermasse auf die Schaufeln zu keiner viel grösseren Reibung Anlass gibt, als wenn sich das Rad leer drehen würde; das Zahnrad, durch welches das Wurfrad in Bewegung gesetzt wird, übt auf dieses von unten nach oben einen Druck aus, der dem Drucke, welcher aus dem Gewichte des Wassers, das eben gehoben wird, entspringt, zum grössten Theil aufhebt.

§. 362. **Schöpfräder.** — Die Fig. 456 und 457 zeigen ein Rad anderer Art, das aber einen ähnlichen Zweck zu erfüllen hat wie das oben beschriebene. Dieses Rad, welchem man den Namen Schöpfrad gegeben hat, trägt an seinem Umfang eine grosse Anzahl von Zellen oder Eimern, welche sich mit dem zu hebenden Wasser füllen und es wieder entleeren. Wenn das Rad in einem passenden Sinne in Rotation versetzt wird, so tauchen die Zellen unten in das zu hebende Wasser (Fig. 456), füllen sich daselbst von aussen und steigen gefüllt bis zu einer gewissen Höhe empor. Dortselbst angekommen, giessen sie das Wasser durch Oeffnungen, welche an dem inneren Umfange des Radkranzes angebracht sind, in Kästen B, C, von welchen es in die Gerinne D, E gelangt, in denen es weiter fliesst. Die Arme F, welche den Umfang des Rads mit der Welle desselben verbinden, nehmen nicht die ganze Breite

des Rads ein (Fig. 457); sie gestatten dadurch den Kästen B, C von beiden Seiten unter das Rad herein zu ragen, ohne die Bewegung

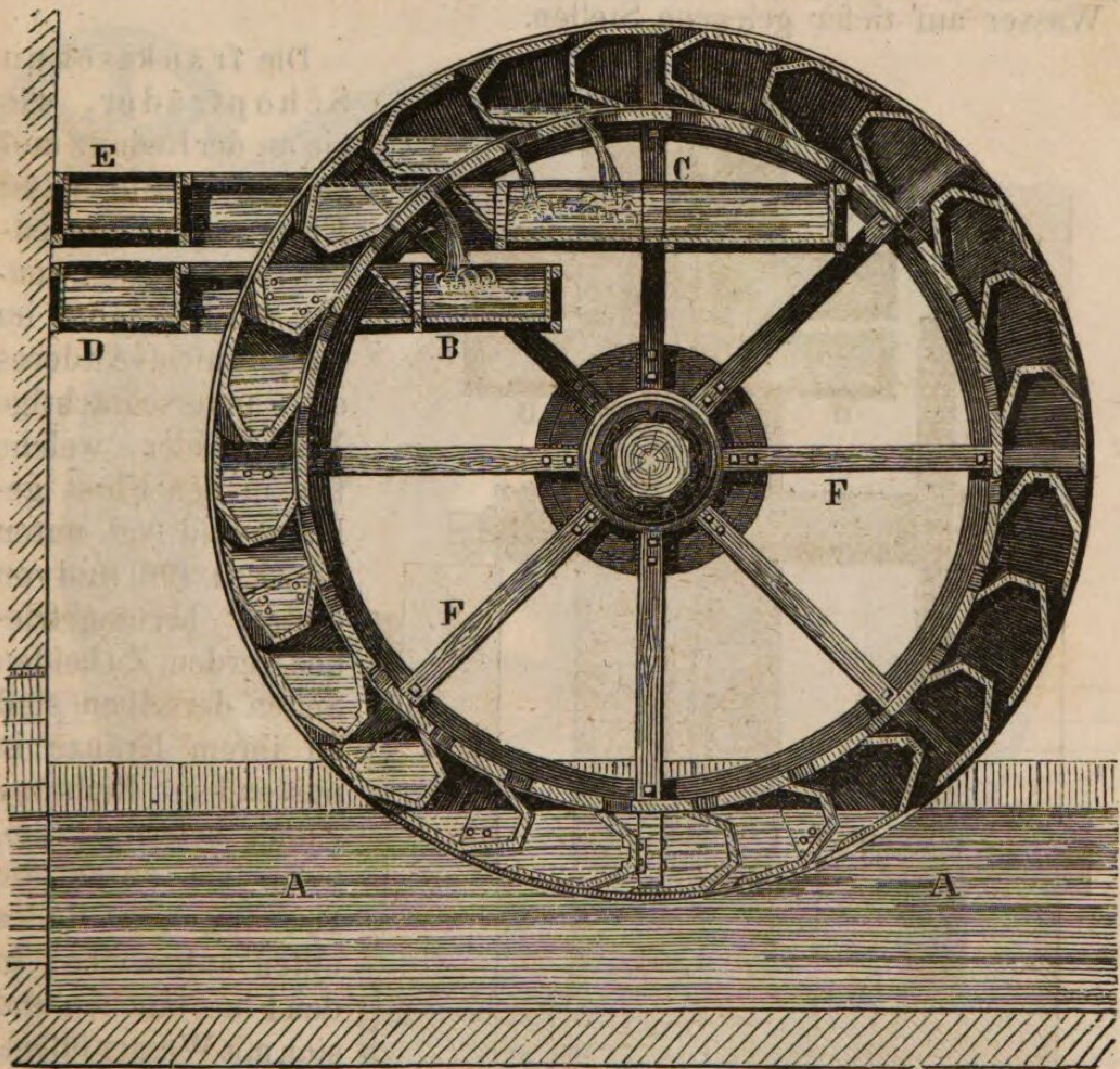


Fig. 456 (Masstab 12 : 1000).

desselben zu stören. Ein Wasserrad oder sonstiger hydraulischer Motor dreht die Welle G, deren Bewegung mittelst Zahnräder auf die Welle des Schöpfrads übertragen wird.

Man sieht, dass hier die Welle des Rades das ganze Gewicht des Wassers, welches gehoben wird, zu tragen hat, wodurch eine bedeutende Reibung hervorgebracht wird. Aber andererseits sind auch die Verluste, welche bei dem vorhergehenden Rad immer stattfinden, indem das Wasser durch die Zwischenräume zwischen den Schaufeln und dem Gerinne herabfällt, nicht zu befürchten.

Das Rad welches die Fig. 456 und 457 darstellen, ist in Ciry Salsogne bei Soissons aufgestellt und wird dazu angewendet, Wasser aus dem Flusse Vesle zu heben und damit die umliegenden Wiesen zu bewässern. Das Gerinne E (Fig. 456) führt das Wasser auf höher gelegene Punkte des zu bewässernden Terrains; das

Gerinne D dagegen, gespeist aus dem Kasten B, welcher die erste Wassermenge, die aus den Zellen ausfliesst, empfängt, leitet das Wasser auf tiefer gelegene Stellen.

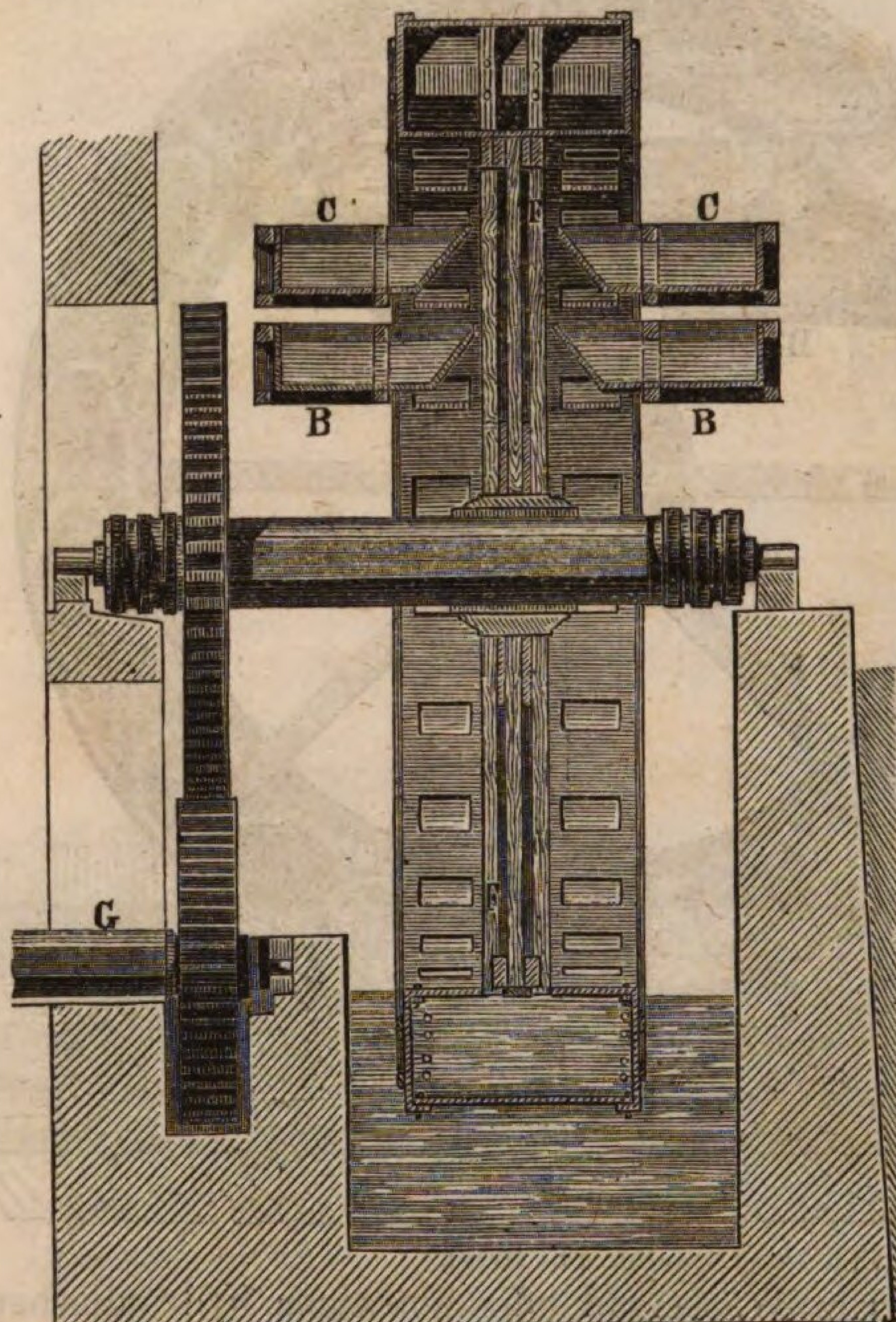


Fig. 457.

Die fränkischen Schöpfräder, wie sie an der Rednitz und Regnitz bei Fürth und Erlangen zur Wiesenbewässerung angewendet werden, sind im Grunde nichts Anderes als unterschlächtige Wasserräder, welche frei in den Fluss gehängt sind (vgl. unten §§. 392 u. 396) und von diesem herumgetrieben werden. Zu beiden Seiten derselben sind an ihrem Kranze in passender Richtung Eimer befestigt, die, wenn sie durch die Drehung des Rades unten ankommen, in den Fluss tauchen und sich mit Wasser füllen, das sie beim Aufwärtssteigen mit emporheben und oben in Gerinne ausgiessen, die es auf die zu bewässernden Wiesen abführen.

§. 363. **Das Tympanum.** — Das Tympanum (Fig. 458 und 459) hat viel Aehnlichkeit mit dem Schöpfrad; es unterscheidet sich von diesem dadurch, dass es das Wasser zwar an seinem Umfang aufnimmt, aber in der Nähe seiner Axe wieder ausfliessen lässt. Das Tympanum besteht aus einer hohlen Trommel, welche um ihre Axe drehbar ist, und in welcher Scheidewände angebracht sind, die sich in Form von Spiralen von der Axe zum Umfange erstrecken. Diese Trommel taucht mit ihrem untersten Theile in das zu hebende Wasser; dadurch kann dieses Wasser in die durch die Scheidewände gebildeten Kammern eindringen und stellt sich in denselben, so lange es noch nicht von der übrigen Wassermasse

abgesondert ist, ebenso hoch als aussen. Aber wenn das Tympanum in dem Sinne, wie es der Pfeil andeutet, in Drehung versetzt wird,

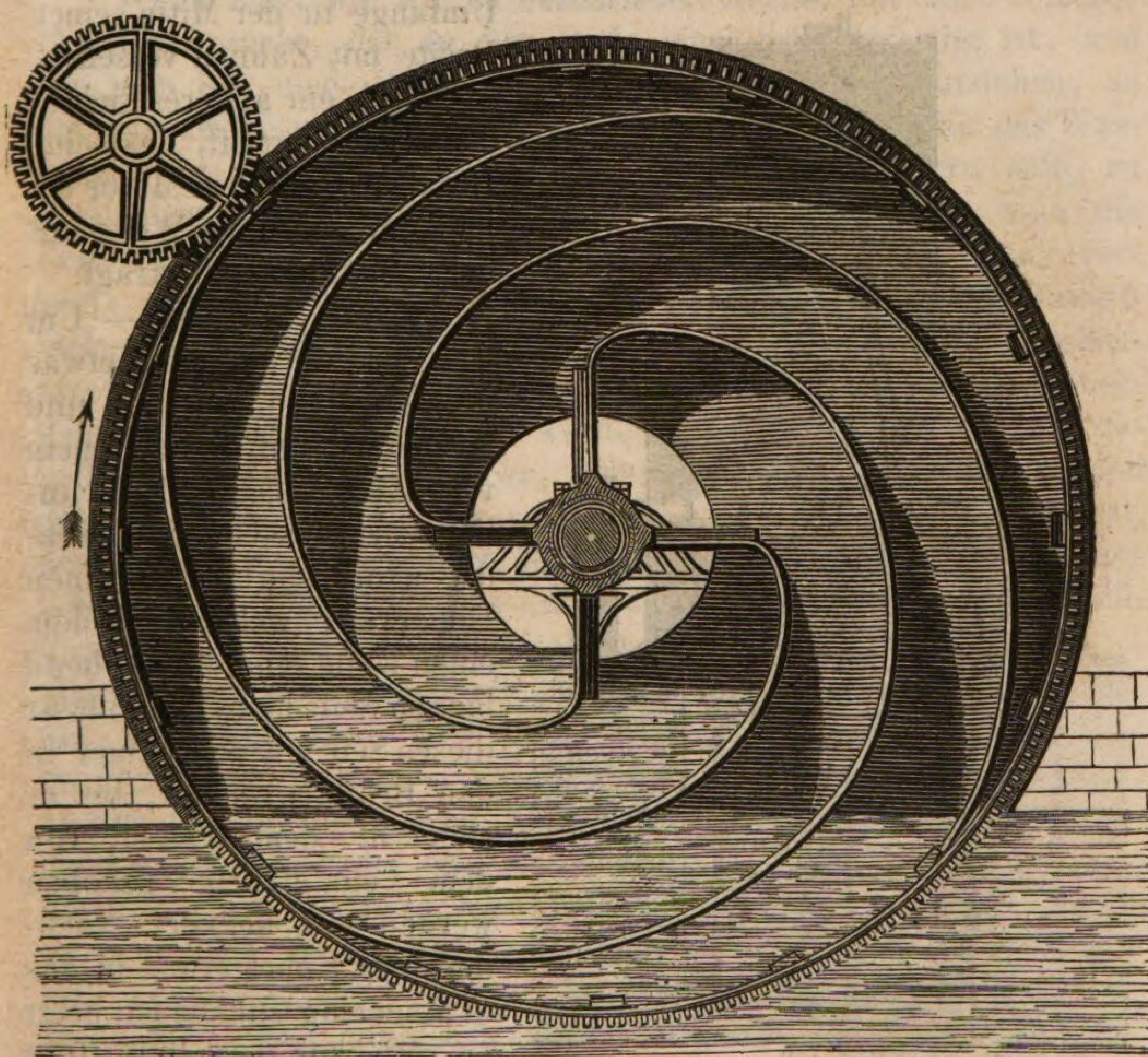


Fig. 458 (Masstab 13 : 1000).

so treten die Enden der Scheidewände, eines nach dem anderen, aus dem Wasser hervor, und dabei wird jedesmal eine gewisse Wassermasse in der betreffenden Kammer von der zu hebenden Flüssigkeit isolirt. Diese Wassermasse wird nun, indem sie sich immer an den tiefsten Punkt der Kammer, in welcher sie enthalten ist, zu stellen sucht, in dem Maasse, als sich das Tympanum dreht, allmälig emporgehoben, wobei sie sich, längs den Scheidewänden hinfliessend, dem Mittelpunkt der Trommel mehr und mehr nähert. Wenn dadurch das Wasser endlich an den beiden Oeffnungen angekommen ist, welche rings um den Mittelpunkt an den beiden Seitenwänden des Tympanums angebracht sind, so fliesst es zu beiden Seiten durch diese Oeffnungen aus.

Das Tympanum, welches in den Figuren 458 und 459 dargestellt ist, wurde von Cavé construirt und ist in der Nähe von

Avignon aufgestellt, wo es dazu dient, das zum Bewässern der Reisfelder nöthige Wasser zu heben. Es ist ringsum an seinem Umfange in der Mitte seiner Breite mit Zähnen versehen, in welche ein anderes kleines Zahnrad eingreift, das seine Bewegung von dem Motor erhält und auf diese Weise auf das Tympanum überträgt.

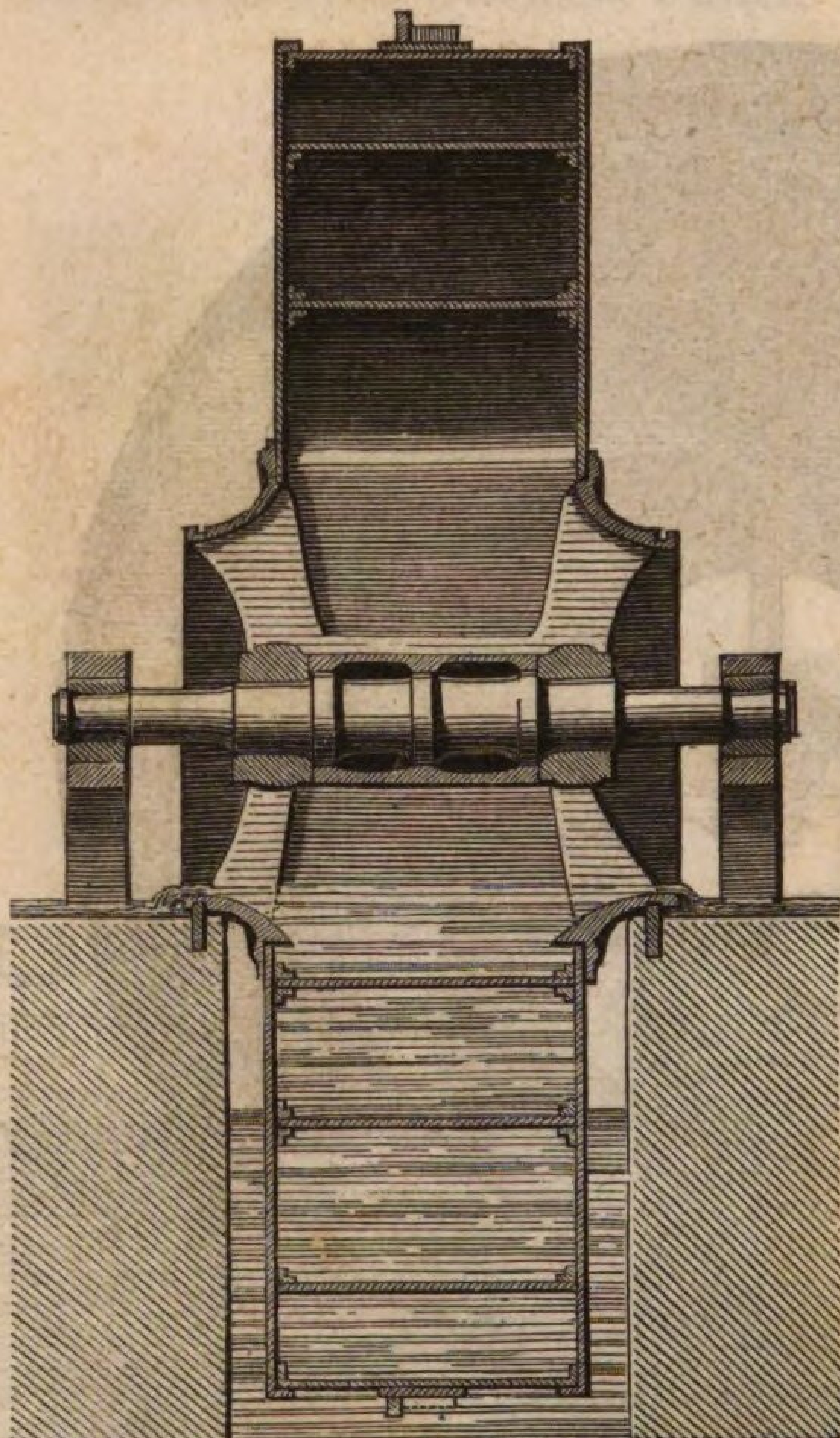


Fig. 459.

§. 364. **Eimer.** — Um das Wasser auf eine etwas grössere Höhe zu heben und besonders, um es aus einem vertikalen Schacht oder Brunnen herauszuschöpfen, wendet man sehr häufig einen Eimer an, welcher an dem einen Ende eines hinreichend langen Seils hängt. Man lässt dieses Seil mit dem Eimer in den Brunnen nieder, bis er sich in dem Wasser, von dem ein Theil gehoben werden soll, befindet. Nachdem der Eimer etwas in das Wasser eingesunken ist, neigt er sich zur Seite und füllt sich allmälig mit der Flüssigkeit vollständig an; alsdann zieht man an dem Seil wieder an und hebt den mit Wasser gefüllten Eimer empor.

Es würde sehr unbequem sein, wenn man das Seil direkt mit den Händen fassen und den Eimer daran emporziehen wollte, da man, um das Anstossen und die Reibung des Eimers an den Brunnenwänden zu verhüten, das Seil immer in einiger Entfernung von diesen halten muss. Man verfährt daher gewöhnlich auf eine andere Art. Häufig lässt man das Seil über die Welle eines Haspels mit Kurbel gehen (§. 60), welche Welle horizontal über der Mündung des Brunnens liegt, sodass man nur an der Kurbel drehen darf, um den Eimer in die Höhe zu fördern. Diese Einrichtung bietet ausser dem Vortheil ihrer Bequemlichkeit auch noch den, dass man Eimer von grösseren Dimensionen damit emporwinden kann; man darf nur den Halbmesser der Haspelwelle bedeutend kleiner als den der

Kurbel machen oder auch die Kurbel erst durch Vermittlung von Zahnrädern auf die Haspelwelle wirken lassen.

Wenn man, wie wir es beschrieben haben, nur einen einzigen Eimer gebraucht, der an dem Ende eines Seils befestigt ist, und den man leer niederlässt, um ihn gefüllt wieder aufzuziehen, so hat das zwei Nachtheile, die man besonders dann, wenn das Wasserschöpfen längere Zeit ohne Unterbrechung fortdauern soll, zu vermeiden suchen muss. Der erste besteht darin, dass man die Zeit, während welcher der leere Eimer abwärts geht, ganz verliert; der zweite kommt daher, dass man jedesmal beim Heraufziehen des gefüllten Eimers nicht allein das Gewicht des zu hebenden Wassers, sondern auch das des Eimers und des Seiles zu überwinden hat. Diese Nachtheile werden durch das einfache Mittel gehoben, dass man zwei Eimer, einen an jedem der beiden Enden des Seils befestigt und dieses letztere über eine Rolle gehen lässt, deren Zwinge vertikal über der Mitte der Mündung des Brunnens befestigt ist (Fig. 460). Wenn man den einen der beiden Seiltheile, die vertikal von der Rolle herabgehen, nach abwärts zieht, so steigt der an seinem Ende befestigte Eimer in den Brunnen hinab, während der andere emporgezogen wird. Man sieht, dass dabei immer der eine Eimer leer abwärts geht, während man den anderen gefüllt herauf zieht, und dass sich ausserdem die Gewichte der beiden Eimer selbst mittelst der Rolle das Gleichgewicht halten; man hat folglich in Wirklichkeit blos das in dem vollen befindliche Wasser zu heben. Was das Gewicht des Seils anbetrifft, das jedoch meistens nur von geringem Belang ist, so wirkt dasselbe bald als widerstehende, bald als bewegende Kraft. Die Gewichte der beiden Seilstücke, welche nebeneinander hängen, neutralisiren sich theilweise; und es wirkt folglich blos der Ueberschuss des einen dieser Gewichte über das andere, und zwar die Bewegung verzögernd oder beschleunigend, je nachdem der volle Eimer tiefer oder höher als der leere steht.

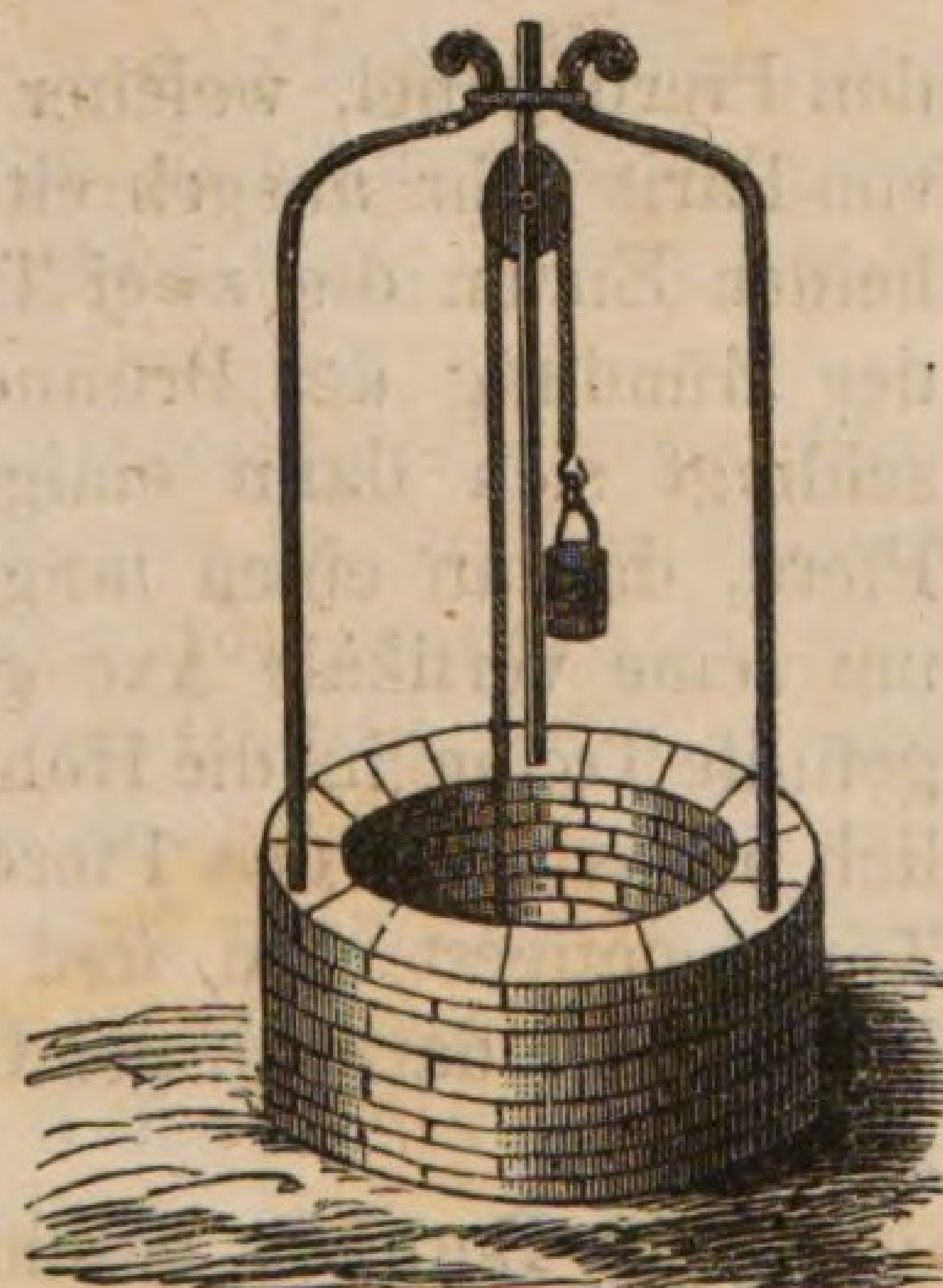


Fig. 460.

§. 365. **Göpel.** — Wenn man etwas beträchtliche Mengen Wasser aus einem Brunnen fördern soll, so kann man sich dazu auch noch der Eimer bedienen; man gibt ihnen aber dann bedeutend grössere Dimensionen und nennt sie nicht mehr Eimer, sondern

Tonnen. Ausserdem ersetzt man die Kraft des Menschen durch die des Pferdes oder des Dampfes, die man auf eine Art Göpel wirken lässt, um diese Tonnen in die Höhe zu fördern.

Als ein Beispiel dieser Art von Göpel geben wir in Fig. 461

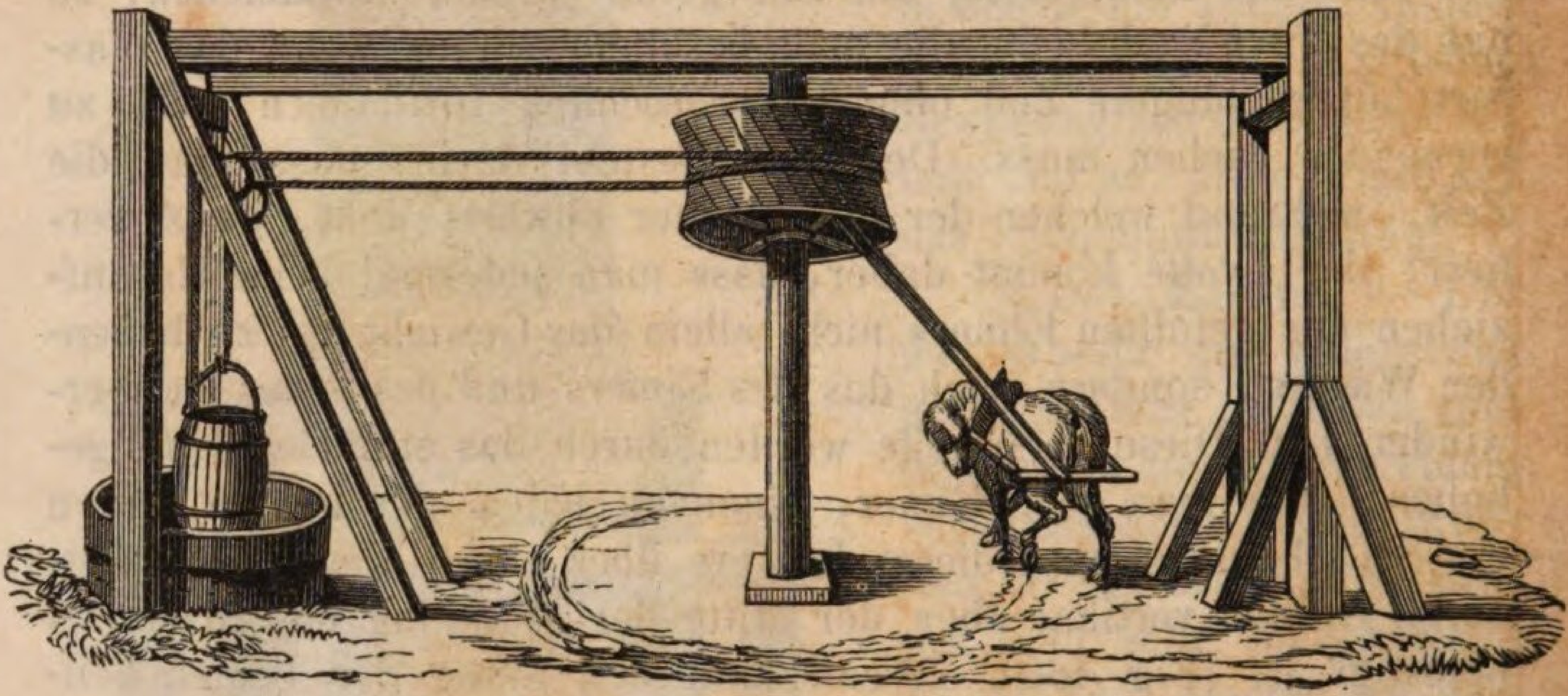


Fig. 461.

den Pferdegöpel, welcher bei den Gemüsegärtnern in der Umgegend von Paris sehr ausgebreiteten Gebrauch findet. Das Seil, an dessen beiden Enden die zwei Tonnen hängen, geht über zwei, oberhalb der Mündung des Brunnens nebeneinander befestigte Rollen und schlingt sich dann einigemal um einen Seilkorb, der durch ein Pferd, das an einen langen Hebel gespannt ist, im passenden Sinne um seine vertikale Axe gedreht wird. In Folge dessen steigt die gefüllte Tonne in die Höhe, während die leere abwärts geht. Natürlich muss sich das Pferd, während die oben angekommene volle Tonne entleert wird und die unten befindliche leere sich füllt, umkehren, um darnach den Göpel in entgegengesetzter Richtung drehen zu können.

Beim Bergbau geschieht die Förderung des Wassers, welches sich in den unterirdischen Gängen ansammelt, sowie die Förderung der Erze selbst ebenfalls in Tonnen, mittelst Göpel von ganz ähnlicher Construktion, wie wir soeben einen beschrieben haben; nur sind dieselben in bedeutend grösseren Dimensionen ausgeführt. Was die Gewichte der leeren Tonnen, sowie das des Seils betrifft, so gilt für dieselben etwas ganz Aehnliches, wie Das, was wir im vorigen Paragraphen gesagt haben; nur in Betreff des letzteren muss bemerkt werden, dass dasselbe im gegenwärtigen Fall, wo das Seil oft eine bedeutende Länge und Dicke haben muss, nicht mehr von so unbeträchtlichem Einfluss ist, als dort angenommen wurde. Dieser Einfluss besteht aber, wie oben angegeben wurde, darin, dass die

wird alsdann die letzte Portion Luft, welche noch unter ihm stand, hinausgeschafft, und die Pumpe beginnt nun Wasser zu liefern.

Wenn die Pumpe einmal auf die Weise, wie wir soeben beschrieben haben, angesaugt ist, so bleibt sie mit Wasser gefüllt, selbst wenn man ihre Thätigkeit unterbricht; wenn man sie folglich auf's Neue in Gang setzt, so liefert sie schon beim ersten Kolbenhub Wasser. Wenn indessen die Pumpe etwas lang in Ruhe bleibt, so wird sie gewöhnlich leer gefunden. Diess rührt davon her, dass die Drückungen in den verschiedenen Punkten der Wassersäule, welche unter dem Kolben aufgezogen gehalten wird, geringer sind, als der Druck der atmosphärischen Luft, der auf der ganzen äusseren Oberfläche der Pumpe statttindet; daraus folgt, dass die Luft durch alle, auch die feinsten Spalten und Ritzen, die sie findet, in's Innere der Pumpe zu dringen sucht; namentlich findet sie zwischen dem Umfang des Kolbens und der inneren Fläche des Stiefels ihren Weg. In dem Maasse aber, als die Luft in die Pumpe eindringt, senkt sich das Wasser in derselben; und am Ende einer gewissen längeren oder kürzeren Zeit, je nachdem die Pumpe gut oder weniger gut construirt ist, nimmt das Wasser in der Saugröhre dieselbe Höhe wieder ein, wie in dem Reservoir, in welches letztere taucht.

Wir haben oben gesagt, dass der Abstand der unteren Fläche des Kolbens von der Oberfläche des Wassers im unteren Reservoir niemals grösser als die Höhe einer Wassersäule werden darf, welche dem Drucke der atmosphärischen Luft das Gleichgewicht zu halten vermag. Wenn man die Wirkungsweise des Kolbens, indem er die Pumpe ansaugt, aufmerksam verfolgt, und wenn man die Unvollkommenheiten, welche eine Pumpe immer darbietet, in Rechnung zieht, so sieht man, dass die wirkliche Höhe, auf welche das Wasser heraufgesaugt wird, beträchtlich hinter jener oben angegebenen äussersten Grenze zurückbleibt. Die Erfahrung hat gezeigt, dass man der Saugröhre keine grössere Länge als höchstens 8^m geben darf.

§. 370. Bei der Druckpumpe (Fig. 468) erhält ein Kolben A eine hin- und hergehende Bewegung in einem Stiefel, welcher selbst in das Reservoir, wo sich das zu hebende Wasser befindet, eintaucht. Eine Oeffnung B, welche unten an diesem Stiefel angebracht ist, ist mit einem Ventil versehen, das sich von unten nach oben öffnet: durch diese Oeffnung gelangt das Wasser aus dem Reservoir in den Stiefel. Eine zweite Oeffnung C verbindet den unteren Theil des Stiefels mit einer Röhre D, Steigröhre genannt, in welcher das Wasser gehoben werden soll; diese Oeffnung ist gleichfalls mit einem Ventil versehen, welches wohl die Flüssigkeit aus dem Stiefel in

die Röhre D übergehen, aber nicht mehr aus dieser Röhre in den Stiefel zurückkehren lässt.

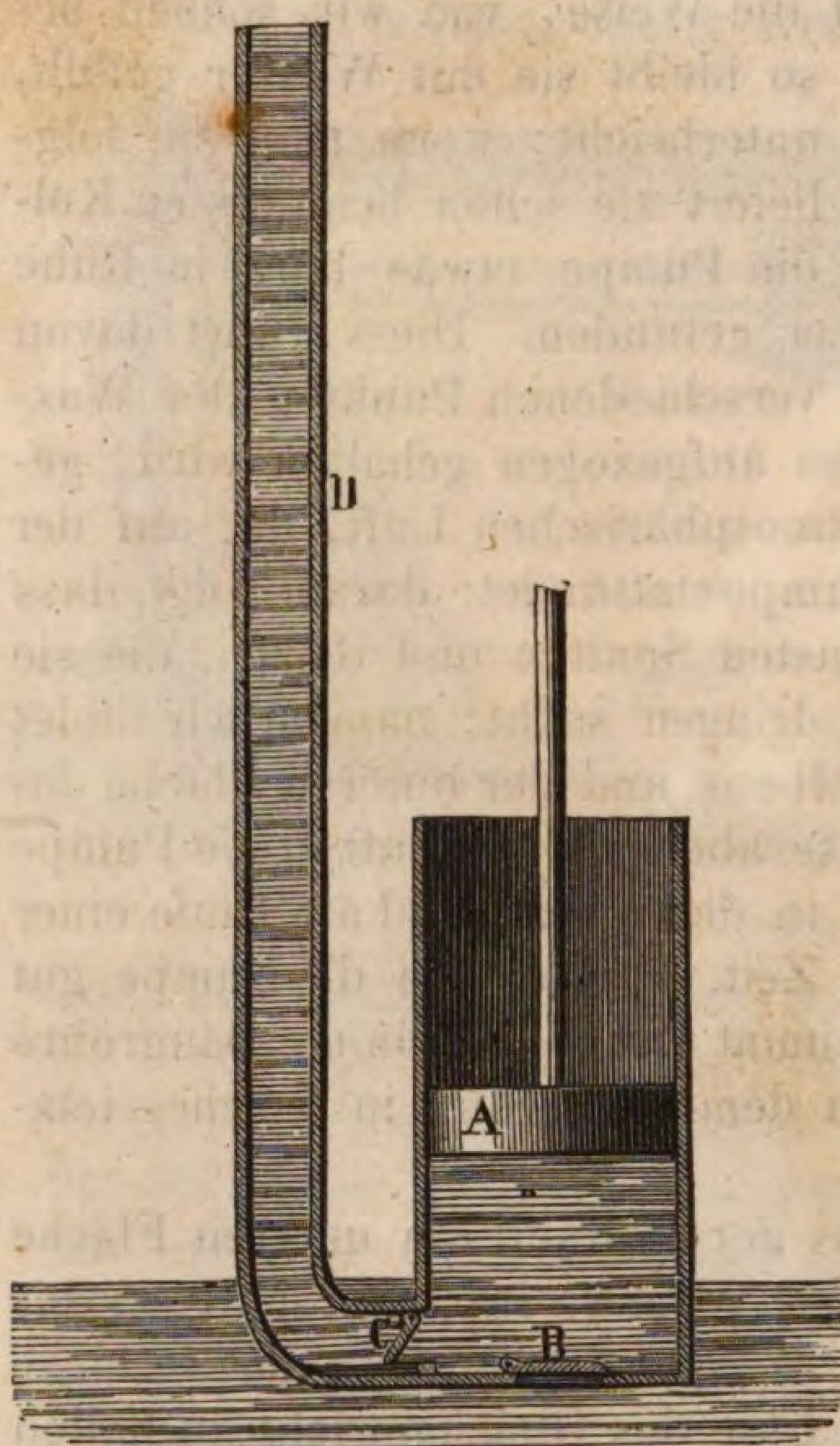


Fig. 468.

Wenn der Kolben A in die Höhe geht, so würde unter ihm ein luftleerer Raum entstehen; das Ventil C schliesst sich folglich, während sich das Ventil B öffnet, und der Stiefel füllt sich mit Wasser. Wenn hierauf der Kolben abwärts geht, so schliesst sich das Ventil B; das im Stiefel enthaltene Wasser wird gedrückt; es öffnet folglich das Ventil C und gelangt so in die Steigröhre D.

Wie gross auch die Höhe ist, bis zu welcher sich die Steigröhre einer Druckpumpe erhebt, so ist es doch immer möglich, das Wasser mittelst dieser Pumpe bis zu ihrem obersten Ende hinauf zu treiben, vorausgesetzt, dass auf den Kolben eine hinreichend grosse Kraft wirkt. Darin besteht der wesentliche Unterschied zwischen der Druck- und Saugpumpe; die letztere kann das Wasser nur auf eine Höhe heben, welche eine gewisse Grenze nicht überschreitet.

Die Kraft, welche auf den Kolben ausgeübt werden muss, um ihn im Pumpenstiefel aufwärts zu bewegen, ist immer nur klein, da der Druck, welchen er von Seite des Wassers auf seiner unteren Fläche zu erleiden hat, von dem Drucke der atmosphärischen Luft niemals sehr verschieden ist. Wenn dagegen der Kolben abwärts geht, so hat er den vollen Druck des Wassers in der Steigröhre zu überwinden, einen Druck also, der durch die Höhe bestimmt ist, auf welche das Wasser gehoben werden soll; dieser Druck ist gleich dem Gewichte einer Wassersäule, die zur Basis die Fläche des Kolbens und zur Höhe den vertikalen Abstand der unteren Kolbenfläche von dem Punkte hat, bis zu welchem das Wasser durch die Pumpe gehoben werden soll.

§. 371. Die **Saug- und Druckpumpe** vereinigt die Einrichtungen der beiden Pumpen, von denen wir eben gesprochen

haben, in sich. Denken wir uns, dass in der Druckpumpe (Fig. 468) der Stiefel nicht im unteren Reservoir selbst, sondern höher stehe, und dass er mit einer Saugröhre versehen sei, die von der Oeffnung B ausgeht und in dieses Reservoir taucht. Wenn der Kolben sich erhebt, so steigt das Wasser durch Saugen in den Stiefel hinauf; und wenn darauf der Kolben abwärts geht, so wird es durch die Steigröhre in die Höhe gedrückt. Diess ist das Princip der Einrichtung der Saug- und Druckpumpen.

Häufig wendet man die Einrichtung, die in Fig. 467 dargestellt ist, mit der Modification an, dass das Wasser, anstatt dass es durch eine Seitenröhre E, welche an dem Pumpenstiefel befestigt ist, ausfliessen kann, in einer Steigröhre in die Höhe gehoben wird. Wenn der Kolben abwärts geht, so geht das Wasser, welches sich unter ihm befindet, durch ihn hindurch und gelangt so über ihn. Wenn er sich dann wieder erhebt, so wird nicht allein neues Wasser aus dem Reservoir in den Stiefel heraufgesaugt, sondern es wird auch das über dem Kolben befindliche Wasser in der Steigröhre in die Höhe geschoben. Die Pumpen dieser Art nennt man manchmal *Saug- und Hubpumpen* oder auch einfach *Hubpumpen*, weil in ihnen der Kolben das über ihn stehende Wasser in die Höhe hebt. In Wahrheit sind sie jedoch nichts weiter als Saug- und Druckpumpen, bei denen eben der Kolben das Wasser beim Aufwärtsgehen, anstatt bei seinem Niedergang, in die Höhe drückt.

Wenn man eine Pumpe anlegt, die dazu bestimmt ist, das Wasser eines Brunnens für den häuslichen Gebrauch zu liefern, so bringt man den Stiefel gewöhnlich oben, an der Mündung des Brunnenschachtes an und hebt also das Wasser allein durch Saugen. Diess setzt aber voraus, dass die Tiefe des Brunnens 8^m nicht überschreitet (§. 369). Wenn diese Tiefe grösser ist, so muss man den Stiefel in den Brunnenschacht selbst stellen und folglich eine Saug- und Druckpumpe anwenden. In diesem Fall kann man den Stiefel in grössere oder geringere Höhe über den Wasserspiegel im Brunnen stellen, vorausgesetzt nur, dass diese Höhe 8^m nicht überschreitet. In der Wahl der Stelle, an welche man den Stiefel bringen will, lässt man sich einzig durch Gründe, betreffend Ersparungen in der Construktion, sowie Bequemlichkeit der Aufstellung und Zugänglichkeit behufs Reparatur, bestimmen; was die Bewegungsarbeit anbelangt, welche an der Pumpe angewandt werden muss, um das Wasser auf eine bestimmte Höhe zu heben, so weiss man, dass sie in keiner Weise von dem Orte abhängt, welchen man dem Pumpenstiefel in dem Brunnenschacht anweist (§. 356).

§. 372. Die Fig. 469 zeigt die Einrichtung, welche für Pumpen, die für den häuslichen Gebrauch bestimmt sind, die gebräuchlichste ist. Der Hebel ABC dreht sich um eine Axe B. Indem man das Ende A hin- und herbewegt, gibt man dem Punkte C eine auf- und abgehende Bewegung. Eine Stange CD ist einestheils an dem Ende C des Hebels, andererseits in dem Punkte D der Stange des Kolbens E befestigt, sodass die hin- und hergehende Bewegung des Punktes C auf den Kolben übertragen wird, welcher sich auf diese Weise in dem Stiefel abwechselnd hebt und senkt. Wenn der Kolben E in die Höhe geht, so öffnen sich die beiden Ventile F und G; es wird einerseits das Wasser des Brunnens, über welchem die Pumpe angebracht ist, durch die Röhre H herauf und in den Stiefel gesaugt; andererseits wird das Wasser, welches bereits über dem Kolben steht, durch die Röhre L bis zu dem Punkte, wo sich diese Röhre endigt, in die Höhe gehoben. Wenn der Kolben abwärts geht, so schliessen sich die Ventile F und G, während das des Kolbens sich öffnet, und das Wasser, welches sich im Stiefel unter dem Kolben befindet, dringt durch die Oeffnungen des letzteren hindurch und stellt sich über

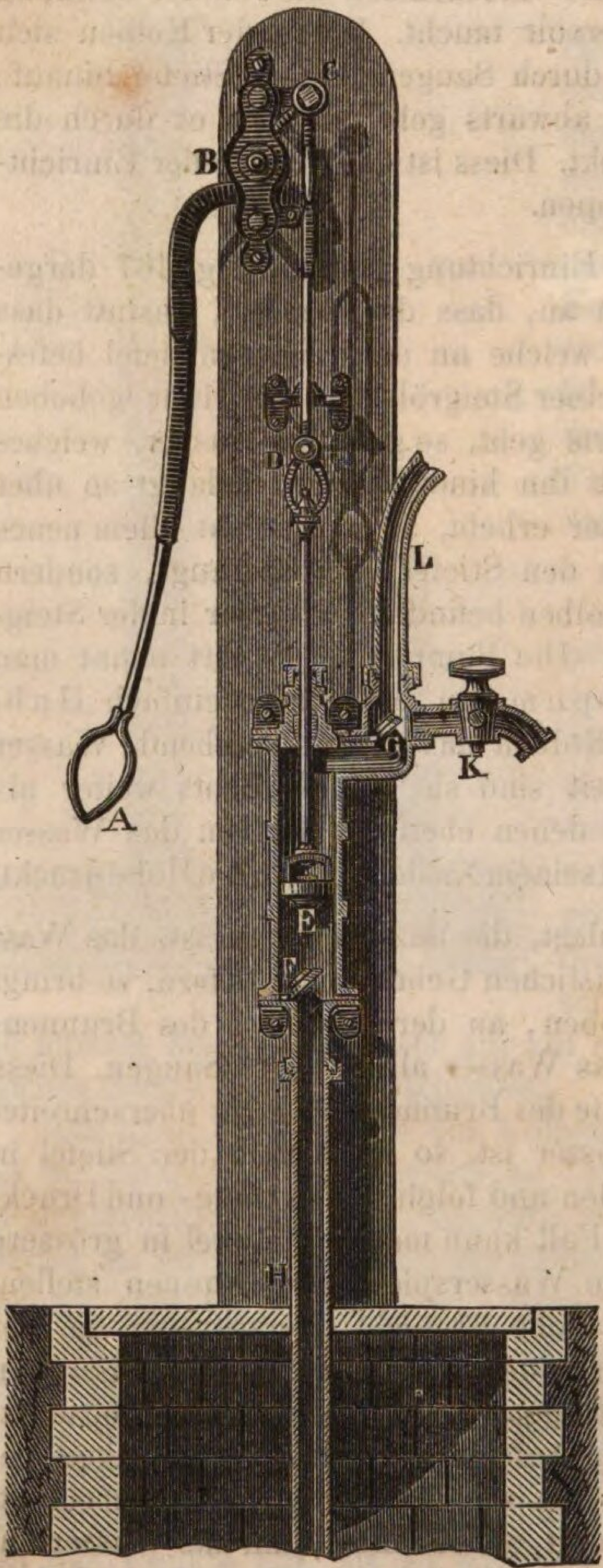


Fig. 469.

denselben. Man sieht daraus, dass man, um das Wasser in die Höhe zu fördern, auf den Hebel ABC nur dann eine Kraft auszuüben

hat, wenn der Kolben in die Höhe gehen und sich folglich das Ende A des Hebels einwärts bewegen soll. Diese Kraft muss im Stande sein, folgende Widerstände zu überwinden: 1) das Gewicht einer Wassersäule, welche die Kolbenfläche zur Basis und den vertikalen Abstand des oberen Endes der Steigröhre L vom Spiegel des Wassers im Brunnen zur Höhe hat; dieser Widerstand greift im Punkte C des Hebels ABC an; 2) die passiven Widerstände, welche durch die Bewegung der festen Theile der Pumpe sowohl, wie durch die Bewegung des Wassers hervorgerufen werden. Um die abwärts gehende Bewegung des Kolbens hervorzubringen, hat man nur passive Widerstände, die übrigens von geringem Belang sind, zu überwinden.

Gewöhnlich ist in der Nähe des oberen Theils des Pumpenstiefels eine kleine Seitenröhre, die mit einem Hahne K versehen ist, angebracht. Wenn man diesen Hahn K öffnet, so fliesst das Wasser durch jene Seitenröhre aus, ohne sich in die Steigröhre L zu erheben. Die Pumpe wirkt dann wie eine einfache Saugpumpe.

§. 373. Bei den verschiedenen Arten von Pumpen, die wir bisher beschrieben haben, ist die Bewegung des Wassers in der Saugröhre sowohl, wie in der Steigröhre intermittirend. Das Wasser steigt in jeder dieser Röhren nur dann aufwärts, wenn sich der Kolben in dem einen Sinne bewegt: es bleibt bei der entgegengesetzten Bewegung des Kolbens stehen, um seine aufsteigende Bewegung erst wieder aufzunehmen, wenn der Kolben anfängt, sich in dem ersteren Sinne zu bewegen. So bewegt sich bei den Druckpumpen (Fig. 468) das Wasser in der Steigröhre nur dann, wenn der Kolben abwärts geht; es bleibt stehen, wenn derselbe steigt. Ebenso bewegt sich in der in Fig. 469 abgebildeten Pumpe das Wasser in der Steigröhre sowohl, wie in der Saugröhre nur dann, wenn der Kolben in die Höhe geht; während seines Niederganges bleibt es ruhig in dieser Röhre stehen. Diese intermittirende Bewegung des Wassers bringt aber Arbeitsverluste hervor, welche aus folgenden Ursachen entspringen: 1) Das Wasser muss jedesmal, nachdem es sich in Ruhe befunden hatte, plötzlich in Bewegung gesetzt werden, was einem Stosse gleich zu achten ist. 2) Die Geschwindigkeit, welche das Wasser in den Röhren besitzt, wird bei jedem Kolbenzug vernichtet, ohne irgend eine nützliche Wirkung hervorzubringen; und es muss jedesmal, wenn das Wasser wieder in Bewegung gesetzt werden soll, eine gewisse Quantität von Arbeit dazu angewandt werden, um ihm diese Geschwindigkeit wieder zu geben.

Um diese intermittirende Bewegung des Wassers in der Saug- und Steigröhre zu vermeiden, hat man die doppeltwirkende Pumpe erdacht, in welcher das Wasser zu gleicher Zeit gesaugt und in die Höhe gedrückt wird, sowohl wenn der Kolben abwärts, als wenn er aufwärts geht. Ein massiver Kolben A (Fig. 470) bewegt sich in einem Pumpenstiefel, der auf beiden Seiten geschlossen ist. Vier Oeffnungen B, C, B′, C′, von denen zwei oben, zwei unten in dem Pumpenstiefel angebracht sind, setzen denselben einerseits mit einer Saugröhre D, andererseits mit einer Steigröhre E in Verbindung; sämmtliche vier Oeffnungen sind mit Ventilen versehen, die sich im Sinne der Bewegung, welche das Wasser annehmen muss, um entweder aus der Saugröhre in den Stiefel, oder aus dem Stiefel in die Steigröhre überzugehen, öffnen. Wenn der Kolben A in die Höhe geht, so sind die Ventile B′ und C′ geschlossen, während die B und C geöffnet sind; das Wasser steigt aus der Röhre D in den unteren Theil des Stiefels, und dasjenige, welches sich über dem Kolben befindet, wird in der Steigröhre E in die Höhe geschoben. Wenn hierauf

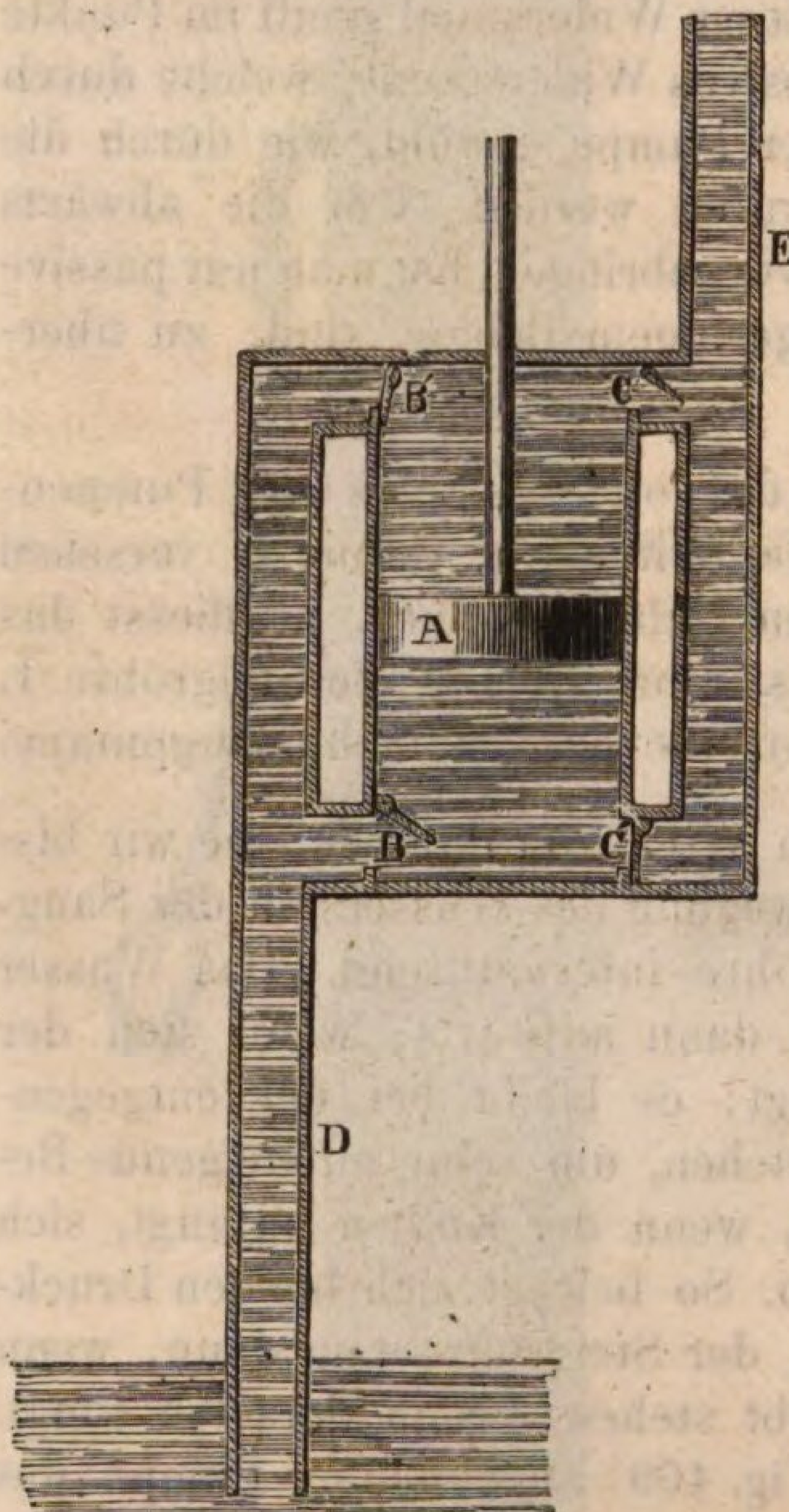


Fig. 470.

der Kolben abwärts geht, so schliessen sich die Ventile B und C, während sich die anderen B′ und C′ öffnen; das Wasser der Saugröhre dringt durch die Oeffnung B′ in den oberen Theil des Stiefels, während dasjenige, welches vorher unter den Kolben gelangt ist, durch die Oeffnung C′ aus dem Stiefel hinaus und in der Steigröhre E in die Höhe gedrückt wird. Man sieht daraus, dass das Wasser sowohl in der Saug- wie in der Steigröhre immer in Bewegung ist.

Eine doppeltwirkende Pumpe, so eingerichtet, wie wir sie soeben beschrieben haben, liefert bei jedem Kolbenzug zweimal so viel Wasser als eine einfach wirkende Pumpe von gleichen Dimensionen. Aber darin liegt an und für sich kein Vortheil der doppeltwirkenden Pumpe; denn wenn sie einerseits eine doppelt so grosse

Nutzarbeit als die anderen Pumpen leistet, so erfordert sie andererseits auch eine doppelt so grosse Bewegungsarbeit; aus diesem Gesichtspunkt betrachtet, bietet also die doppeltwirkende Pumpe keinen Vortheil vor einer einfachwirkenden, deren Stiefel einen doppelt so grossen Inhalt hat. Der Vortheil der doppeltwirkenden Pumpe besteht einzig in der Stetigkeit der Bewegung des Wassers in der Saug- und Steigröhre.

Dagegen sind die doppeltwirkenden Pumpen so zusammengesetzt, dass es schwieriger ist, Kolben und Ventile in gutem Stande zu erhalten. Ausserdem erreicht man eine stetige Bewegung des Wassers in den Röhren ebenso gut auch dadurch, dass man zwei einfachwirkende Pumpen, welche mit ein und der nämlichen Saugröhre sowohl, als auch mit ein und derselben Steigröhre in Verbindung stehen, und deren Kolben sich immer im entgegengesetzten Sinne bewegen, mit einander kuppelt. Wenn die eine dieser Pumpen durch Saugen wirkt, so wirkt die andere durch Druck, und umgekehrt. Man wendet desshalb doppeltwirkende Pumpen nur selten an, sondern ersetzt sie meist durch zwei einfachwirkende, die so, wie wir es eben beschrieben haben, wirken und durch ein und denselben Motor bewegt werden. Oft vereinigt man sogar, um eine noch grössere Regelmässigkeit der Bewegung des Wassers in den Röhren zu erzielen, drei und selbst vier einfachwirkende Pumpen mit einander, deren Bewegungen so in einander greifen, dass die Wassermenge, welche in jedem Augenblick gesaugt und in die Höhe gedrückt wird, nahezu immer constant bleibt.

§. 374. **Die Feuerspritze.** — Um das zum Löschen bei Feuersbrünsten nöthige Wasser zu liefern, bedient man sich der Druckpumpe. Die Steigröhre derselben ist meistens sehr leicht biegsam, um nach Belieben nach irgend einem Ort des Feuers gerichtet werden zu können, auch während die Pumpe in Thätigkeit ist. Die vertikale Höhe, bis zu welcher das Wasser in dieser Röhre gehoben werden soll, ist sehr verschieden; sie ist häufig sogar Null, wenn nämlich die Ausmündung der Röhre in gleicher Höhe mit dem Kolben der Pumpe gelegen ist. Aber der Zweck, den man durch Anwendung dieser Pumpe zu erreichen sucht, besteht nicht sowohl darin, das Wasser blos bis an das Ende der Steigröhre zu heben, sondern es soll noch mit bedeutender Geschwindigkeit aus der Mündung dieser Röhre ausfliessen; man bringt auf diese Weise einen Strahl von grosser Sprungweite hervor, welchen man auf die Stelle richten kann, wo man dem Feuer Einhalt thun will. Wir wollen nun sehen, welche Einrichtung man gewählt hat, um diesen Zweck zu erreichen.

Es ist von grosser Wichtigkeit, dass der Strahl, welcher aus der Steigröhre hervorspringt, eine Geschwindigkeit besitzt, die sich von einem Augenblick zum anderen kaum merklich ändert. Zu diesem Behufe bringt man zwei Druckpumpen neben einander an, deren Kolben *a*,*a* (Fig. 471) sich immer in entgegengesetzter Richtung

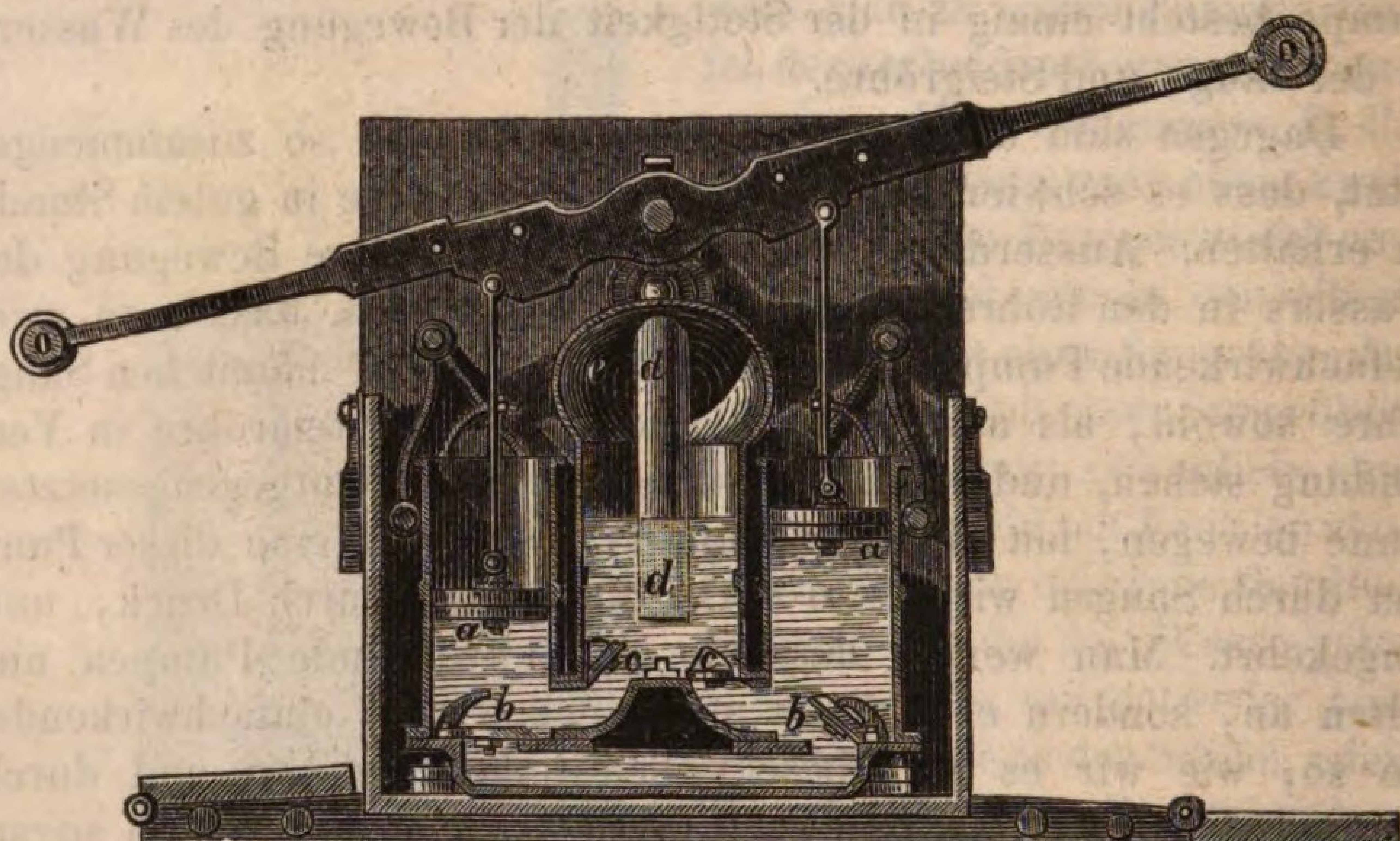


Fig. 471.

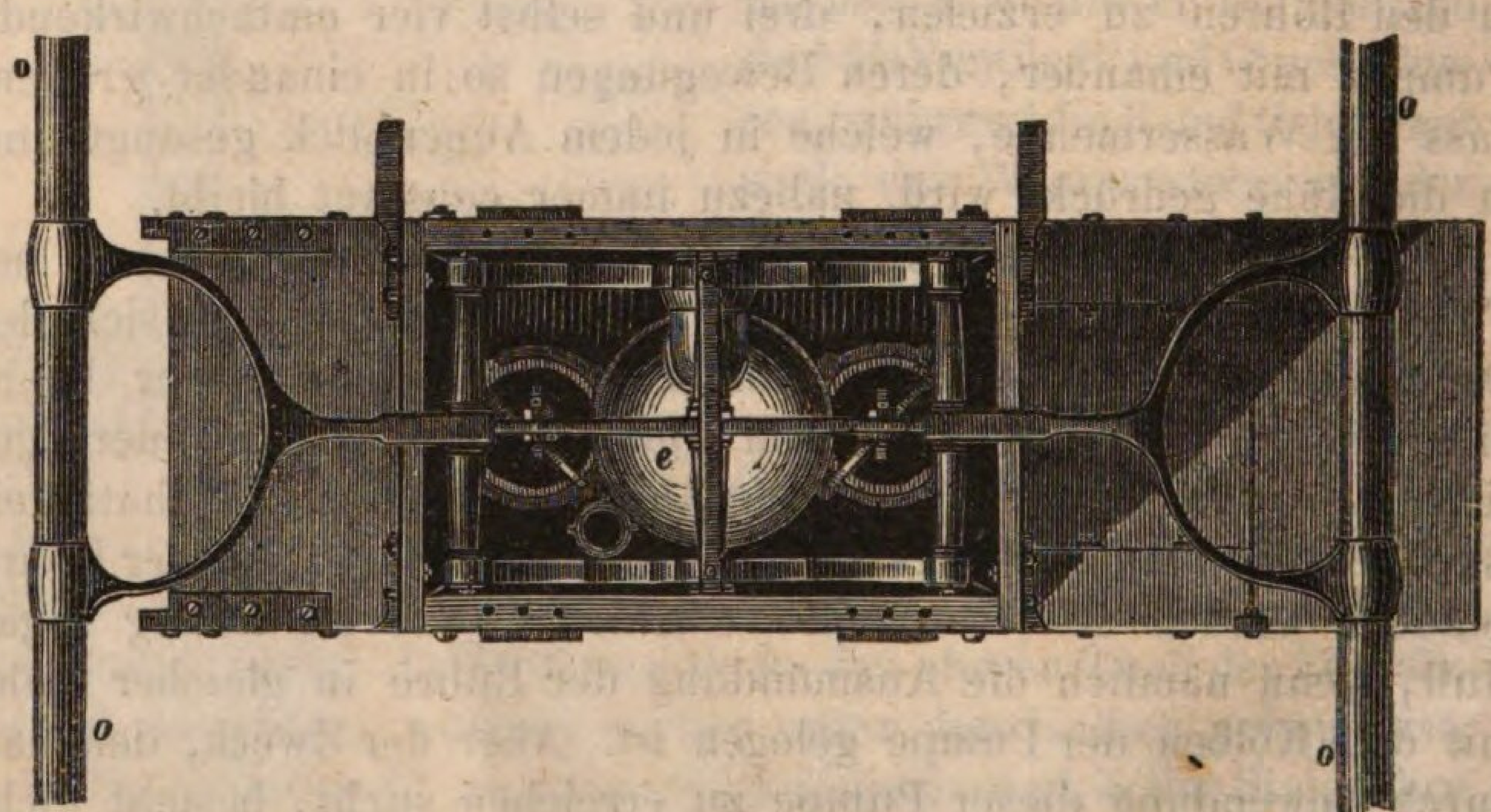


Fig. 472.

bewegen, und die im Verein eine doppeltwirkende Pumpe ersetzen (§. 373). Wenn einer dieser Kolben in die Höhe geht, so öffnet sich das unter ihm befindliche Ventil *b*, und das Wasser tritt in den Stiefel; beim darauffolgenden Niedergang des Kolbens schliesst sich das Ventil *b* wieder, dagegen öffnet sich das betreffende Ventil *c*, und das Wasser wird durch dasselbe hindurch in einen kleinen

Behälter, der in der Mitte der Maschine angebracht ist, und in welchem die Steigröhre *d* mündet, geschafft.

Ungeachtet der gleichzeitigen Anwendung zweier Druckpumpen, die mit ein und derselben Steigröhre in Verbindung stehen, würde die Geschwindigkeit des Wassers doch noch lange nicht so regelmässig sein, als es gewünscht werden muss; die Bewegung des Wassers würde sich in sehr merklichem Grade jedesmal dann verzögern, wenn die beiden Kolben, am Ende ihres Laufes angekommen, die Richtung ihrer Bewegung ändern. Man musste desshalb noch zu einem anderen Mittel seine Zuflucht nehmen; dieses Mittel, die Geschwindigkeit des Wassers zu reguliren, besteht in der Anwendung des sogenannten Windkessels *e*, der sich über dem Raum befindet, in welchen sich das Wasser, welches aus den Pumpenstiefeln kommt, ergiesst. Die Luft, welche in diesem Reservoir enthalten ist, ist vollständig eingeschlossen; sie setzt sich folglich mit dem Drucke des Wassers, über welchem es steht, in's Gleichgewicht, und ihre Spannkraft wird um so grösser, einen je stärkeren Druck die Bewegung des Wassers in der Steigröhre am Eingange dieser Röhre *d* erfordert. Wenn in irgend einem Augenblick das Wasser in grosser Menge durch eines der Ventile *c*, *c* strömt, so braucht es nicht unmittelbar in die Röhre *d* einzudringen; es sammelt sich in dem Windkessel, in welchen diese Röhre taucht, an und drückt die Luft über sich zusammen; wenn hierauf wieder weniger Wasser durch die Ventile *c*, *c* einströmt, so dehnt sich diese Luft wieder aus und drückt, indem sie auf das Wasser zurückwirkt, dasselbe allmälig in die Steigröhre. In Folge dieser Einrichtung machen sich die Unregelmässigkeiten in den Wassermengen, die in jedem Augenblick durch die Ventile *c*,*c* gedrückt werden, hauptsächlich in dem Reservoir, in welches sich jene Ventile öffnen, geltend und zeigen sich dort durch die Schwankungen der Oberfläche des Wassers, welche abwechselnd steigt und fällt; dagegen haben diese Unregelmässigkeiten nur kaum merkbare Aenderungen in der Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser aus dem Ende der Steigröhre hervorspringt, zur Folge.

Damit das Wasser nicht der ganzen Länge der Steigröhre entlang die Geschwindigkeit besitzen muss, mit welcher es aus dem Ende derselben hervorspringen soll, wodurch eine sehr bedeutende Reibung hervorgerufen werden würde, so muss man dafür sorgen, den Querschnitt der Röhre bedeutend grösser als den der Ausflussöffnung an ihrem Ende zu machen. Auf diese Art bewegt sich dann das Wasser in der Röhre selbst nur langsam und nimmt erst in dem Moment, wo es aus derselben austritt, eine grosse Geschwindigkeit an.

Um die Feuerspritze in Thätigkeit zu setzen, wirkt man auf die beiden Enden eines grossen Hebels, welcher sich um eine horizontale Axe drehen kann, die über dem Windkessel *e* (Fig. 471 und 472) angebracht ist. Dieser Hebel trägt an jedem Ende eine lange hölzerne Stange *o*, die als Handhabe dient. Diese Handhaben werden von mehreren Menschen zugleich ergriffen, die sie abwechselnd auf und niederdrücken. Die dadurch hervorgebrachte hin- und hergehende Bewegung wird mittelst Eisenstäben, die einerseits an der Stange jedes der Kolben, andererseits an dem Hebel in zwei Punkten befestigt sind, die zu beiden Seiten der Axe desselben liegen, auf die beiden Kolben *a, a* übertragen. Während die Pumpen in Thätigkeit sind, ist eine Anzahl anderer Leute damit beschäftigt, fortwährend Wasser in den Kasten oder Trog zu schütten, in welchem sich die beiden Pumpenstiefel befinden. Aus diesem Kasten gelangt das Wasser durch die Ventile *b, b* in die Stiefel, um aus diesen in den Windkessel und von da in die Steigröhre gedrückt zu werden.

§. 375. **Die Rotationspumpe.** — Man hat die hin- und hergehende Bewegung, welche der Kolben einer Pumpe erhalten muss, durch eine Rotationsbewegung, die immer in demselben Sinn stattfindet, zu ersetzen gesucht und hat diess durch folgende Einrichtung erreicht: Ein ringförmiges Stück AA (Fig. 473) erhält eine Rotationsbewegung um eine Axe, welche durch seinen Mittelpunkt hindurch geht; es dreht sich in einem gleichfalls ringförmigen Raume BB. Der Ring AA besitzt vier Einschnitte, durch welche ebenso viele Stücke C,C hindurchgehen, die dazu bestimmt sind, den Raum BB in vier Abtheilungen zu theilen, welche in keinerlei Verbindung mit einander stehen.

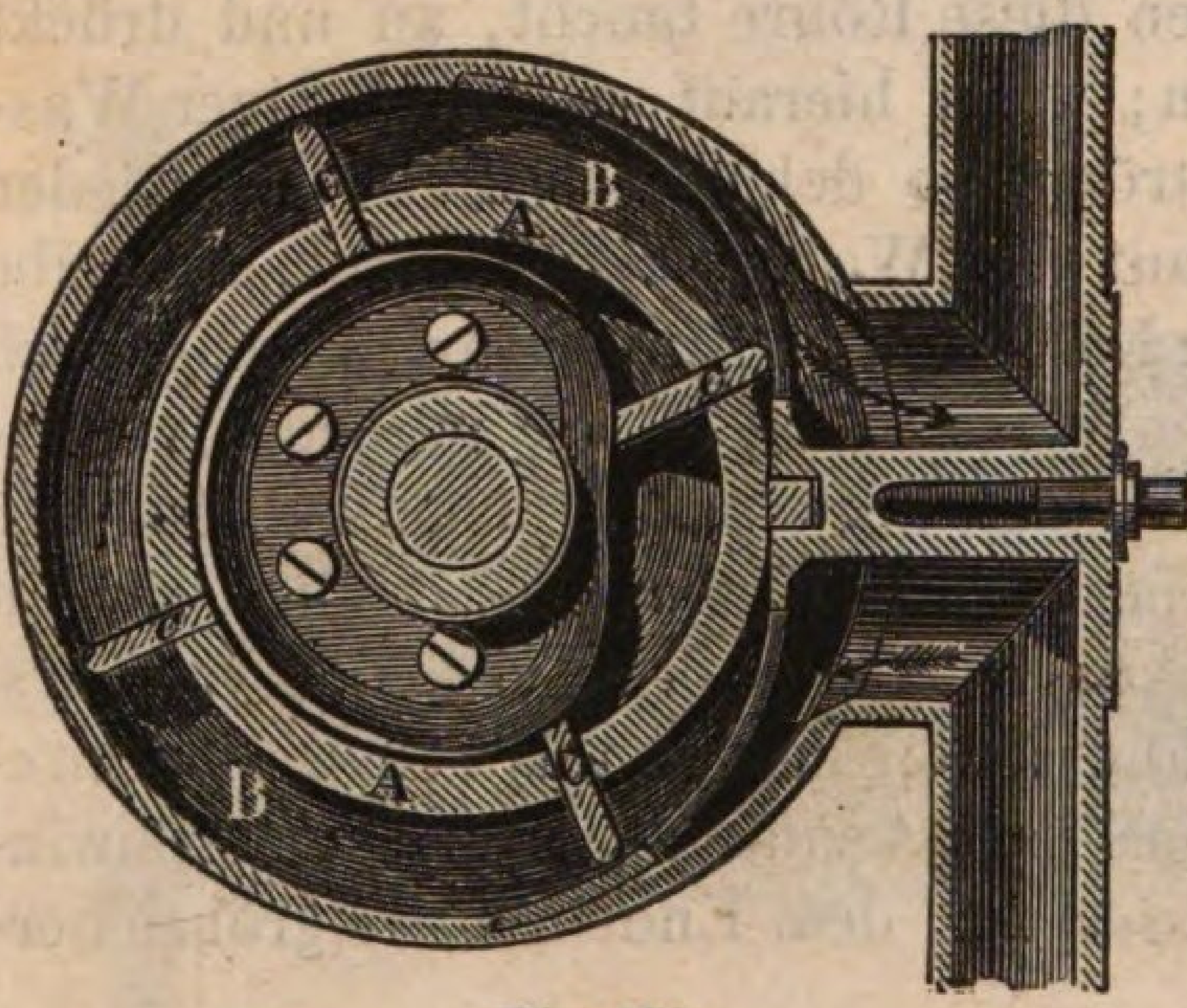


Fig. 473.

Die äussere sowohl, als die innere Begrenzung des ringförmigen Raumes BB, in welchem sich der Ring AA mit den Stücken C,C bewegt, ist nicht kreisförmig; diese beiden Begrenzungen, welche durchweg in gleichem Abstande von einander bleiben, nähern sich auf der rechten Seite dem Mittelpunkt des Ringes AA, sodass die äussere Begrenzung in Berührung mit der Aussenfläche dieses Ringes tritt. In Folge dieser Form des Raumes BB werden die Stücke C,C genöthigt, sich in den Einschnitten des Ringes AA zu verschieben

und sich auf diese Weise der Rotationsaxe abwechselnd zu nähern und wieder davon zu entfernen. Daraus folgt, dass die vier Abtheilungen rings um den Ring AA herum, welche durch die Stücke C,C von einander getrennt werden, nicht immer denselben Rauminhalt behalten; sie vergrössern sich, wenn sich die Stücke C,C, welche sie begrenzen, vom Centrum der Bewegung entfernen; und sie werden im Gegentheil kleiner, wenn sich diese Stücke C,C dem Centrum nähern. In der äusseren Wand des Raumes BB sind zwei Oeffnungen angebracht, welche, die eine einer Saugröhre, die andere einer Steigröhre, entsprechen. Wenn während der Rotation des Ringes AA eine der Abtheilungen, welche ihn umgeben, sich vergrössert, so steht diese Abtheilung mit der Saugröhre durch die erste jener Oeffnungen in Verbindung; sie saugt folglich das in dieser Röhre enthaltene Wasser ein und ist auf diese Weise in dem Augenblick, wo sie ihren grössten Rauminhalt erreicht hat, vollständig mit Flüssigkeit gefüllt. Wenn sich hierauf der Rauminhalt dieser Abtheilung verringert, so steht sie durch die zweite jener Oeffnungen mit der Steigröhre in Verbindung; das Wasser wird folglich in dem Maasse, als sich diese Abtheilung verkleinert, genöthigt in die Steigröhre einzudringen. Man sieht aus dieser Beschreibung, dass die in Rede stehende Pumpe eine Saug- und Druckpumpe ist, und dass sie, noch mehr, vollständig den Zweck einer doppelt wirkenden Pumpe erfüllt; die Bewegung, welche sie dem Wasser in der Saugröhre sowohl, wie in der Steigröhre gibt, ist offenbar continuirlich.

§. 376. **Bergwerkspumpen.** — Zur Förderung des Wassers aus den unterirdischen Gängen der Bergwerke bedient man sich am häufigsten der Pumpen, die man in einem Schachte aufstellt, der sich unten an der Stelle endigt, wo sich das zu hebende Wasser aus den verschiedenen Stollen sammelt. Schächte dieser Art haben oft eine grosse Tiefe; man ist desshalb genöthigt, den Pumpen, welche hier zur Anwendung kommen sollen, eine besondere Einrichtung zu geben.

Nach Dem, was wir oben gesagt haben, könnte eine Druckpumpe das Wasser in einer Steigröhre, welche sich bis zur ganzen Höhe des Schachtes erstreckt, in die Höhe schaffen; aber diess würde voraussetzen, dass die Pumpe in ihrer Construction Bedingungen erfüllt, die nur äusserst schwer zu erhalten sind, und denen man überhaupt erst seit einer kurzen Reihe von Jahren genügen kann. Damit der Kolben das Wasser in eine Steigröhre von grosser Höhe hinauf drücken kann, muss er so dicht an den Wänden des Stiefels anschliessen, dass die Flüssigkeit selbst unter dem enormen Druck der zu hebenden Wassersäule nicht zwischendurch dringen

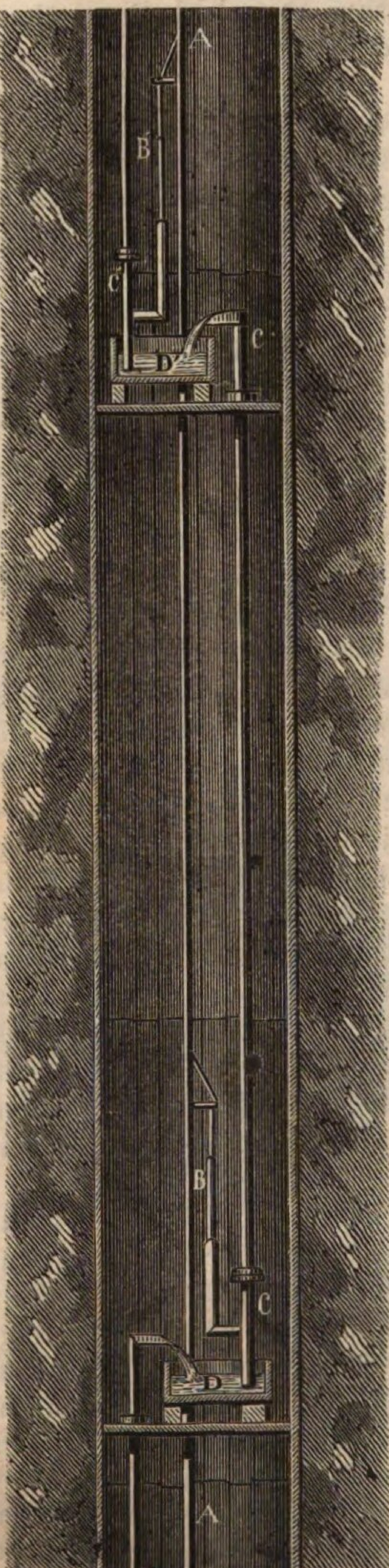


Fig. 474.

kann. In Folge dieses Durchsickerns des Wassers könnte es kommen, dass trotz der Bewegung des Kolbens das Wasser in der Steigröhre nicht gehoben würde; aber selbst auch angenommen, dass die Pumpe Wasser liefert, so würde doch ein bedeutender Theil der Arbeit, die zur Bewegung der Pumpe erforderlich ist, verloren werden. Aus diesem Grunde erhebt man das Wasser nicht mit einemmal durch unten angebrachte Druckpumpen auf die ganze Höhe des Schachtes, sondern zieht es vor, folgende Einrichtung zu treffen.

Man theilt den Schacht seiner ganzen Höhe nach in mehrere über einander liegende Etagen und bringt in jeder derselben eine Pumpe an, die dazu bestimmt ist, das Wasser in die nächst höher gelegenen zu heben. Ein Gestänge AA (Fig. 474), Kunstgestänge genannt, welches sich von oben nach unten durch den ganzen Schacht erstreckt, trägt von Entfernung zu Entfernung die Kolben B,B′ der verschiedenen Pumpen; es erhält durch eine Kraftmaschine, die an der Oberfläche der Erde in der Nähe der Schachtöffnung aufgestellt ist, eine hin- und hergehende Bewegung und setzt dadurch sämmtliche Pumpen in der ganzen Höhe des Schachtes zu gleicher Zeit in Thätigkeit. Indem der Kolben B auf- und abwärtsgeht, vermehrt und vermindert er abwechselnd den inneren Rauminhalt eines Pumpenstiefels, welcher durch ein horizontales Röhrenstück mit dem unteren Theil der Röhre CC communicirt. In dieser Röhre befinden sich zwei Ventile, das eine über, das andere unter der Einmündung des horizontalen Röhrenstücks in dieselbe; beide

Ventile öffnen sich von unten nach oben. Wenn der Kolben B in die Höhe geht, so schliesst sich das obere Ventil, während sich das untere öffnet, und das Wasser des Troges D steigt durch Saugen in den Pumpenstiefel. Wenn hierauf der Kolben B wieder abwärts steigt, so schliesst sich das untere Ventil, dagegen öffnet sich das obere, und das Wasser wird in der Steigröhre CC in die Höhe gedrückt. Oben ausfliessend ergiesst sich dieses Wasser in einen Trog D′, aus welchem es mittelst des Kolbens B′ gesaugt und auf dieselbe Weise in einer Röhre C′ in die Höhe gedrückt wird. So wird das Wasser von Etage zu Etage gehoben, bis es ganz oben an der Mündung des Schachtes anlangt, wo es sich nach aussen ergiesst.

§. 377. **Die Pumpen von Marly.** — Das berühmte Pumpwerk von Marly, welches unter Ludwig XIV. (von 1675—1682) angelegt wurde, hatte den Zweck, das Wasser der Seine bis zum obersten Punkt einer Wasserleitung zu erheben, von wo es sich in Bassins ergoss, die dazu bestimmt waren, das Schloss und den Park von Marly mit Wasser zu versehen. Später wurde dieses Wasser bis Versailles, zum Gebrauch des Schlosses und der Stadt dieses Namens, geleitet. Die gesammte Höhe, auf welche das Wasser durch die Maschinen gehoben wurde, betrug 155 Meter; man liess es desshalb nicht in einem Strahl (d. h. in einer ununterbrochenen Röhre) in die Höhe steigen, sondern legte zwei Zwischenbassins an und stellte dem entsprechend drei Systeme von Pumpen auf, von denen sich das erste am Ufer der Seine und die beiden anderen an jenen Zwischenbassins befanden, und welche alle drei durch vierzehn Wasserräder, jedes von 12^m Durchmesser, die, durch das Wasser der Seine getrieben, ihre Bewegung mittelst einer grossen Anzahl von langen Ketten den Pumpen mittheilten, in Bewegung gesetzt wurden. Bei dieser Einrichtung wurde der grösste Theil der Bewegungsarbeit, welche durch die Bewegung des Wassers der Seine geliefert und durch die Wasserräder nutzbar gemacht wurde, durch die passiven Widerstände in Anspruch genommen. Diese passiven Widerstände nahmen mit der Zeit so zu, dass sie zuletzt nur noch einen sehr kleinen Theil der Bewegungsarbeit als Nutzarbeit übrig liessen. Desshalb hat man jetzt die ganze ursprüngliche Einrichtung verlassen und sie durch Pumpen ersetzt, welche das Wasser in einem Strahl vom Ufer der Seine bis zum obersten Punkt der Wasserleitung, also auf eine Höhe von 155^m, heben. Die Construktion dieser neuen Pumpen, welche erst seit dem Anfang dieses Jahrhunderts datirt, hat das erste Beispiel der Erhebung des Wassers

in einem Strahl bis auf eine so bedeutende Höhe geliefert. Sehen wir, wie diese Pumpen eingerichtet sind.

Ein Metallkolben A (Fig. 475) hat die Form eines Cylinders, dessen Höhe bedeutend grösser als sein Durchmesser ist; dieser Kolben bewegt sich in einem Pumpenstiefel, dessen Wände er jedoch nicht berührt, sondern anstatt dessen, möglichst luft- und wasserdicht, durch eine Stopfbüchse geht, welche an dem oberen Theil des Stiefels angebracht ist. Durch zwei Klappenventile B wird die Verbindung des Stiefels mit der Saugröhre abwechselnd hergestellt und wieder unterbrochen. Ein anderes Ventil C erfüllt denselben Zweck bezüglich der Verbindung des Stiefels mit der Steigröhre. Die auf- und abgehende Bewegung des Kolbens bringt eine abwechselnde Vermehrung und Verminderung des Rauminhalts des Stiefels hervor, ganz so, als wenn der Kolben selbst mit einer Liderung versehen wäre und sich an den Wänden des Stiefels reiben würde. Wenn sich der Kolben hebt, so saugt er das Wasser durch die Ventile B ein; und wenn er hierauf wieder niedergeht, so wird dieses Wasser durch das Ventil C hinausgedrückt. Die Dichtung der Stopfbüchse, welche oben an dem Pumpenstiefel angebracht ist, kann leichter in gutem Zustande erhalten werden, als wenn sie an dem Kolben angebracht und mit diesem beweglich wäre. Diese Einrichtung, in Folge deren die oben beschriebenen Pumpen den Namen Pumpen mit Taucherkolben erhalten haben, ist jetzt fast bei allen Druckpumpen gebräuchlich; sie ist es aber nicht allein, die es ermöglicht hat, das Wasser bis auf eine vertikale Höhe von 155^{m} zu heben.

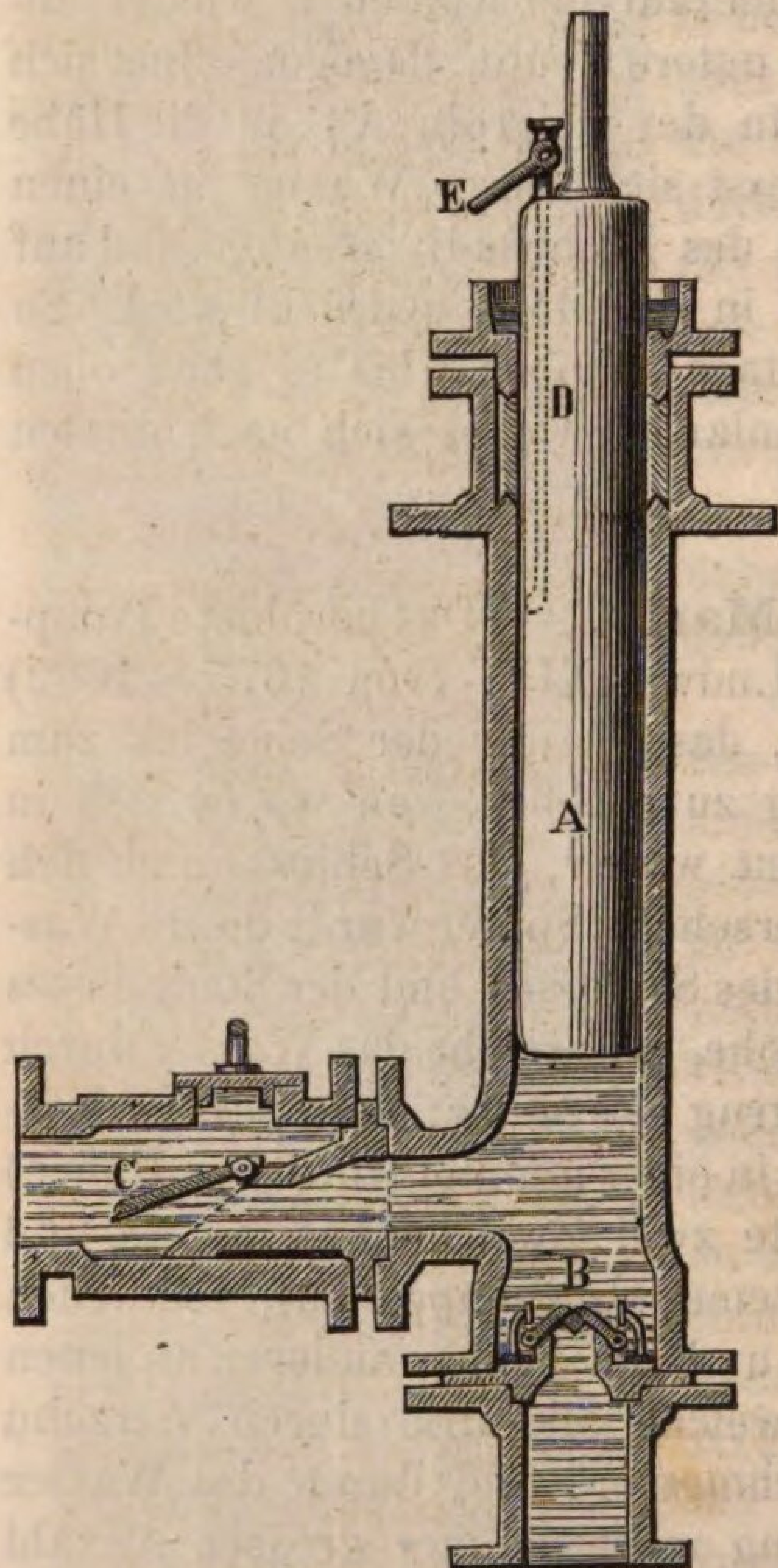


Fig. 475.

Wenn man den Vorgang, welcher stattfindet, während die Pumpe in Thätigkeit ist, untersucht, so sieht man dass der Druck im

Pumpenstiefel zur Zeit, wo der Kolben in die Höhe geht, wo also gesaugt wird, kleiner als der Druck der atmosphärischen Luft ist, dass er aber im Gegentheil bedeutend grösser als dieser sein muss, wenn das Wasser die Steigröhre hinauf gedrückt wird. Im ersten Fall entweicht aus dem Wasser, das immer etwas Luft absorbirt enthält, ein Theil dieser Luft; ausserdem führt das Wasser auch stets kleine Luftmengen mit sich, die mechanisch mit in den Stiefel hineingerissen werden, und endlich kann die atmosphärische Luft auch durch etwa vorhandene feine Spalten und Ritzen, sowie durch den Zwischenraum zwischen dem Kolben und der Stopfbüchse in den Stiefelraum eindringen. Man sieht also, dass beim jedesmaligen Saugen etwas Luft in den Stiefel gelangt; diese Luft sammelt sich in dem engen ringförmigen Raume zwischen dem Stiefel und Kolben, sowie unter dem Kolben an. Wenn dann der Kolben abwärts geht, so wird dadurch zunächst die im Stiefel enthaltene Luft zusammengedrückt, und erst wenn sich ihr Volumen so sehr verringert hat, dass ihre Spannkraft dem Drucke, welcher durch die Wassersäule in der Steigröhre hervorgebracht wird, das Gleichgewicht zu halten vermag, wird das Wasser durch das Ventil C hinausgedrückt. Man begreift daraus, dass es in dem Falle, wo das Wasser auf eine sehr bedeutende Höhe gehoben werden soll, vorkommen kann, dass der Kolben nicht mehr das Wasser in die Steigröhre hineinzudrücken vermag. Oder wenn auch beim Beginn der Thätigkeit der Pumpe der Spiegel des Wassers in der Steigröhre mehr und mehr steigt, so wird er sich doch nicht über eine gewisse Grenze erheben können, die leicht noch tiefer liegen mag, als der Punkt, bis zu welchem das Wasser gehoben werden soll. Und selbst wenn das Wasser bis zu dem obersten Ende der Steigröhre hinaufgedrückt wird, so ist doch die Gegenwart der Luft in dem Pumpenstiefel noch von grossem Nachtheil, da sie die Wassermenge, welche bei jedem Kolbenzug gehoben wird, sehr bedeutend vermindert. Um diesen bedeutenden Nachtheilen auszuweichen, hat man in dem Kolben einen kleinen Kanal D angebracht, der an seinem oberen Ende durch einen Hahn geschlossen ist, den man mittelst eines Schlüssels E öffnen kann. Diesen Hahn öffnet man von Zeit zu Zeit in dem Moment, wo der Kolben niedergeht, wodurch offenbar die Luft aus dem Stiefel durch den Kanal D ausgetrieben wird.

Von den vierzehn Wasserrädern des alten Wasserwerks von Marly sind noch zwei vorhanden. Jedes derselben bewegt vier Pumpen von der Art, wie wir sie soeben beschrieben haben. Die Bewegung des Rades wird auf diese vier Pumpen in der Weise übertragen, dass die aufsteigende Bewegung des Wassers in ihrer

gemeinschaftlichen Steigröhre so regelmässig als möglich erfolgt. Wenn einer der vier Kolben im obersten Punkte seines Hubes angekommen ist, steht ein zweiter im untersten des seinigen, ein dritter befindet sich in der Mitte seines aufsteigenden Laufes und der vierte in der Hälfte seines abwärtsgehenden Wegs. Ausser den acht Pumpen, welche durch die beiden Wasserräder bewegt werden, sind noch andere acht vorhanden, die ihre Bewegung von einer im Jahre 1826 aufgestellten Dampfmaschine erhalten.

Die Wassersäule, welche in der Steigröhre der Pumpen von Marly enthalten ist, bringt im Zustande des Gleichgewichts einen Druck von 15 Atmosphären hervor. Der Versuch hat gezeigt, dass sich der Druck, welchen die Kolben, indem sie abwärts gehen, zu überwinden haben, bis auf ungefähr 17 Atmosphären erhebt: die Widerstände, welche durch die Bewegung des Wassers in den Röhren hervorgebracht werden, erfordern also eine Vermehrung des Drucks um 2 Atmosphären.

§. 378. **Die Centrifugalpumpe.** — In den Weltausstellungen in London (1851) und Paris (1855) sah man eine Maschine

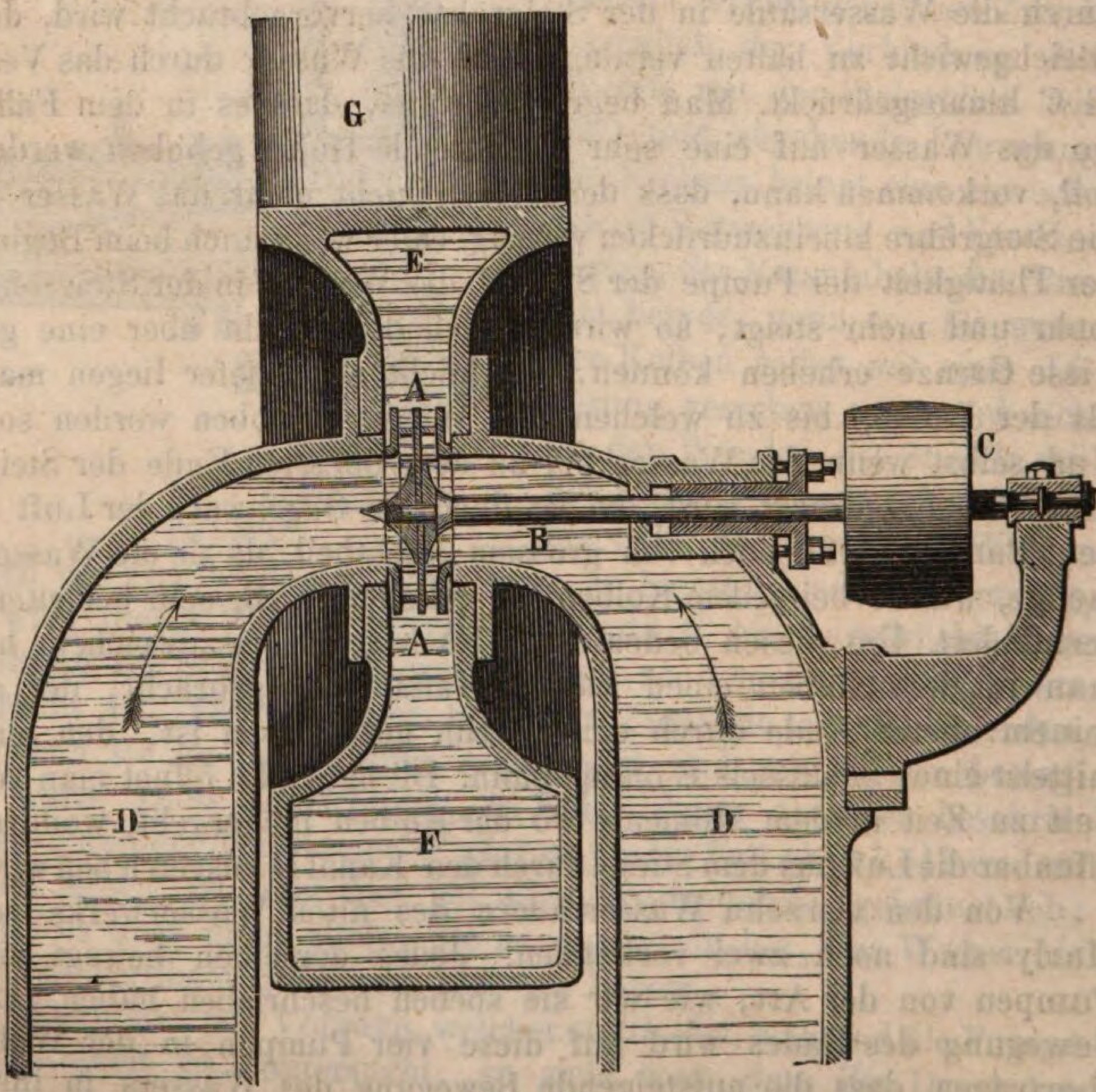
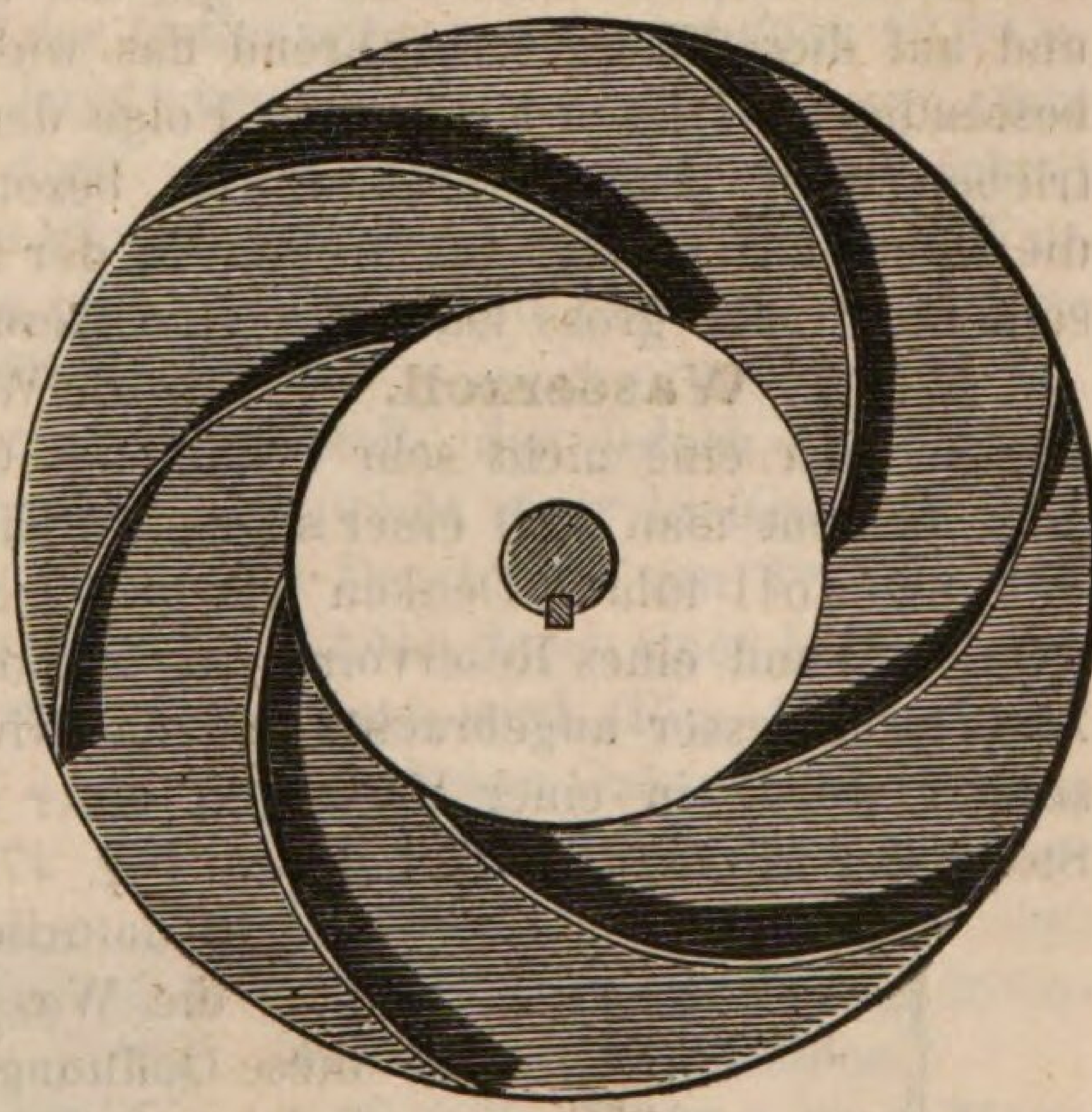


Fig. 476.

in Thätigkeit, die zum Heben des Wassers diente und mit dem Namen Centrifugalpumpe bezeichnet war. Diese Maschine, erfunden von dem Engländer Appold, gehört nicht zu den eigentlich so genannten Pumpen, deren allgemeinen Charakter wir in §. 366 festgesetzt haben. Ihre Einrichtung ist folgende.

Der Hauptbestandtheil der Maschine ist eine Art Rad AA (Fig. 476), das auf einer horizontalen Welle befestigt ist, der man mittelst eines Riemens ohne Ende, welcher über die Rolle C geht, eine sehr schnelle Rotationsbewegung ertheilt. Die Fig. 477 zeigt einen Durchschnitt dieses Rades, senkrecht auf die Axe desselben, in grösserem Masstab. Es besteht im Wesentlichen aus sechs gekrümmten Scheidewänden, die sich parallel zur Axe von einer Seite des Rades zur andern erstrecken und um diese Axe regelmässig angeordnet sind. Jede der beiden Seiten des Rades wird durch eine Scheibe gebildet, die in ihrer Mitte eine breite, kreisrunde Oeffnung besitzt. Endlich wird das Rad noch durch eine ebene Scheidewand, die senkrecht zu seiner Axe mitten durch es hindurchgeht, in zwei völlig symmetrische Theile getheilt. Man dreht das Rad in einem solchen Sinn, dass sich jede der Scheidewände nach der Seite hin bewegt, nach welcher sie gekrümmt ist.

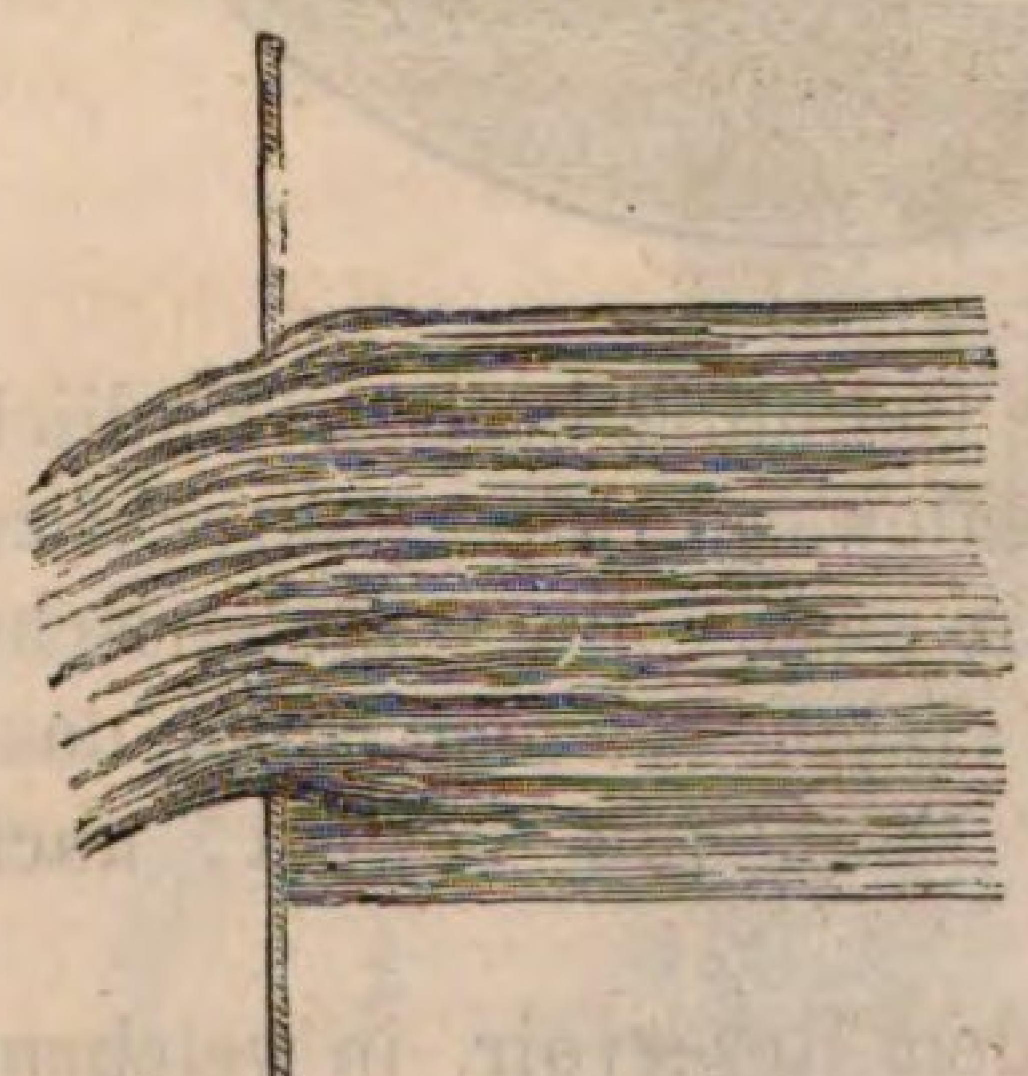

Fig. 477.

Zwei Röhren D, D stehen unten mit dem Reservoir, in welchem sich das zu hebende Wasser befindet, in Verbindung und endigen oben zu beiden Seiten des Rades AA an den beiden kreisrunden Oeffnungen, die sich in seinen Seitenwänden befinden. Ringsum das Rad herum geht ein Raum EF, mit welchem es an seinen Umfang frei communicirt. In diesen Raum mündet bei F der untere Theil einer vertikalen Röhre G, in welcher das Wasser gehoben werden soll.

Wenn sich das Rad AA dreht, so nimmt das Wasser, welches

sich zwischen seinen gekrümmten Scheidewänden befindet, an seiner Rotationsbewegung Theil; dadurch wird eine Centrifugalkraft hervorgebracht, in Folge deren das Wasser das Rad zu verlassen und sich in dem umgebenden Raum EF zu ergiessen sucht. Diess thut es in der That und nöthigt dadurch einen Theil des schon vorher in diesem Raum enthaltenen Wassers in die Steigröhre übergehen und in dieser in die Höhe zu steigen. Zu gleicher Zeit findet um das Centrum der beiden Seitenflächen des Rades ein Saugen statt, in Folge dessen das Wasser des untern Reservoirs in den Röhren D,D in die Höhe steigt, um in das Rad einzudringen und auf diese Weise fortwährend das wieder zu ersetzen, welches beständig an seinem Umfang in Folge der Centrifugalkraft ausgetrieben wird. Diese Maschine gibt besonders in den Fällen, wo die Höhe, auf welche das Wasser in der Röhre G gehoben werden soll, nicht sehr gross ist, recht gute Resultate.

§. 379. **Wasserzoll.** — Um die Wassermenge, welche eine Pumpe oder eine nicht sehr bedeutende Quelle liefert, zu bestimmen, bedient man sich einer speciellen Einheit, welche den Namen Wasserzoll führt. Denken wir uns, man habe in der vertikalen, dünnen Wand eines Reservoirs eine kreisrunde Oeffnung von einem Zoll Durchmesser angebracht, und das Niveau des Wassers im Reservoir würde in einer Höhe von einer Linie über der obersten Stelle der Mündung erhalten (die Fig. 478 stellt diese Anordnung in $\frac{1}{2}$ der natürlichen Grösse dar), so nennt man die Wassermenge, welche durch diese Oeffnung fliesst, einen Wasserzoll. Solcher Oeffnungen sind eine gewisse Anzahl nebeneinander in der Wand des Reservoirs angebracht und können willkürlich geöffnet und geschlossen werden, letzteres gewöhnlich durch einfache Pfropfen. In das Reservoir ergiesst sich die zu messende Wassermenge, und wenn man so viele der in der Seitenwand desselben angebrachten Oeffnungen aufmacht, dass das Niveau constant eine Linie über dem obersten Rand der Oeffnungen erhalten bleibt, so ist klar, dass sich so viele Flüssigkeit durch die Oeffnungen aus dem Reservoir ergiesst, als in dasselbe geliefert wird. Je nachdem man nun eine, zwei, drei Oeffnungen dieser Art aufmachen musste, sagt man die Quelle oder Pumpe liefere einen, zwei, drei Wasserzoll.


Fig. 478.

Der Wasserzoll stellt, wie man sieht, kein bestimmtes Wasser-

volumen dar. Er ist von der Zeit ganz unabhängig und gibt desshalb die von einer Pumpe gelieferte Wassermenge, ohne dass es nöthig wäre, die Zeit zu bezeichnen, während welcher die Pumpe in Thätigkeit war. Wenn man dagegen die von der Pumpe gelieferte Wassermenge in bestimmtem Volumen, in Cubikmetern oder in Litern, angeben wollte, so müsste man allemal hinzusetzen, wie lange die Pumpe gewirkt hat. Der Versuch hat gezeigt, dass das Wasservolumen, welches sich in 24 Stunden durch eine kreisrunde Oeffnung von einem Zoll (altes Pariser Maass) Durchmesser, angebracht in einer dünnen Wand, unter einem Drucke von einer Linie (über dem obersten Rand der Oeffnung) ergiesst, ungefähr 19,2 Cubikmeter (773 Cubikfuss bayr.) beträgt. Wenn man also sagt, dass eine Pumpe einen, zwei, drei Wasserzoll gebe, so bezeichnet das, dass sie in 24 Stunden einmal, zweimal, dreimal $19^{mc},2$ Wasser liefert. Nach Hagen gibt ein Wasserzoll (für das preussische Maass) in 24 Stunden 520 Cubikfuss.

Der neue Prony'sche Wasserzoll, der jedoch keine allgemeine Aufnahme gefunden hat, entspricht einer kreisrunden Oeffnung von 2^{cm} Durchmesser und einer Druckhöhe von 3^{cm} über dem oberen Rand derselben, welche Druckhöhe durch einen Index *a*, der an der Wand befestigt ist, vorgezeichnet wird (Fig. 479 in $\frac{1}{2}$ der natürlichen Grösse). Das Wasser fliesst durch ein cylindrisches Ansatzröhrchen von 17^{mm} Länge; die Ausflussmenge beträgt 20 Cubikmeter in 24 Stunden.

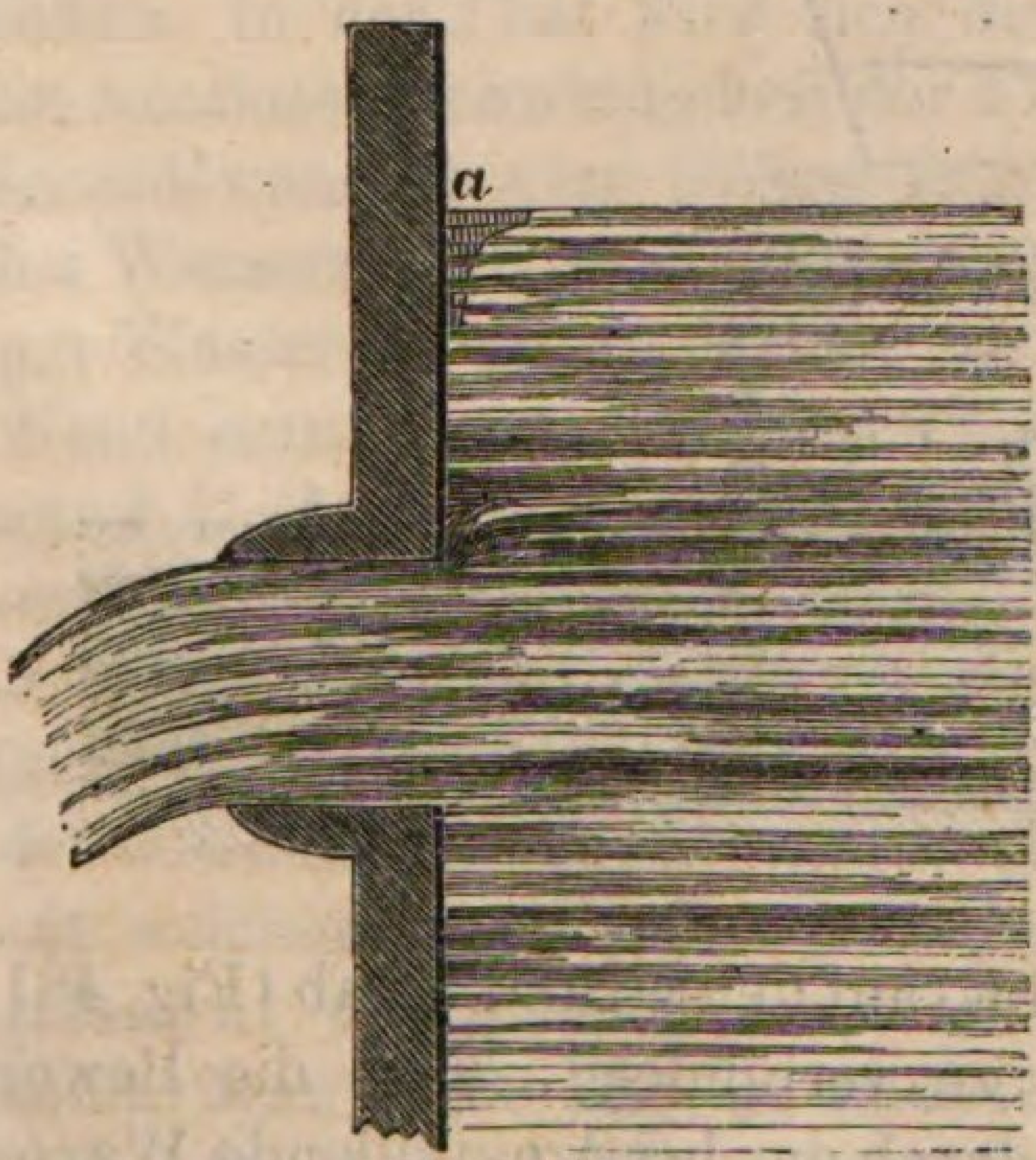


Fig. 479.

§. 380. **Mess- und Vertheilungsbecken.** — Es bleibt uns jetzt noch übrig, die Einrichtungen, durch welche man die Zahl der Wasserzolle, welche eine Pumpe liefert, wirklich finden kann, etwas näher zu betrachten. Zu diesem Behufe wollen wir das Messbecken, welches an der Wasserleitung von Marly angebracht ist und dazu gehört, die Wassermenge, welche die verschiedenen Pumpen von der Seine bis zur Wasserleitung hinauf schaffen, zu messen, näher beschreiben.

Die Fig. 480 zeigt den Grundriss dieses Messbeckens; die Fig. 481 ist ein Durchschnitt nach der Linie GG' des Grundrisses. Das von den Pumpen gelieferte Wasser kommt in A an, wo es in

Form eines breiten Wasserfalls in ein rechteckiges Reservoir herabfällt. Zwei Scheidewände B,C umschliessen den Theil N dieses

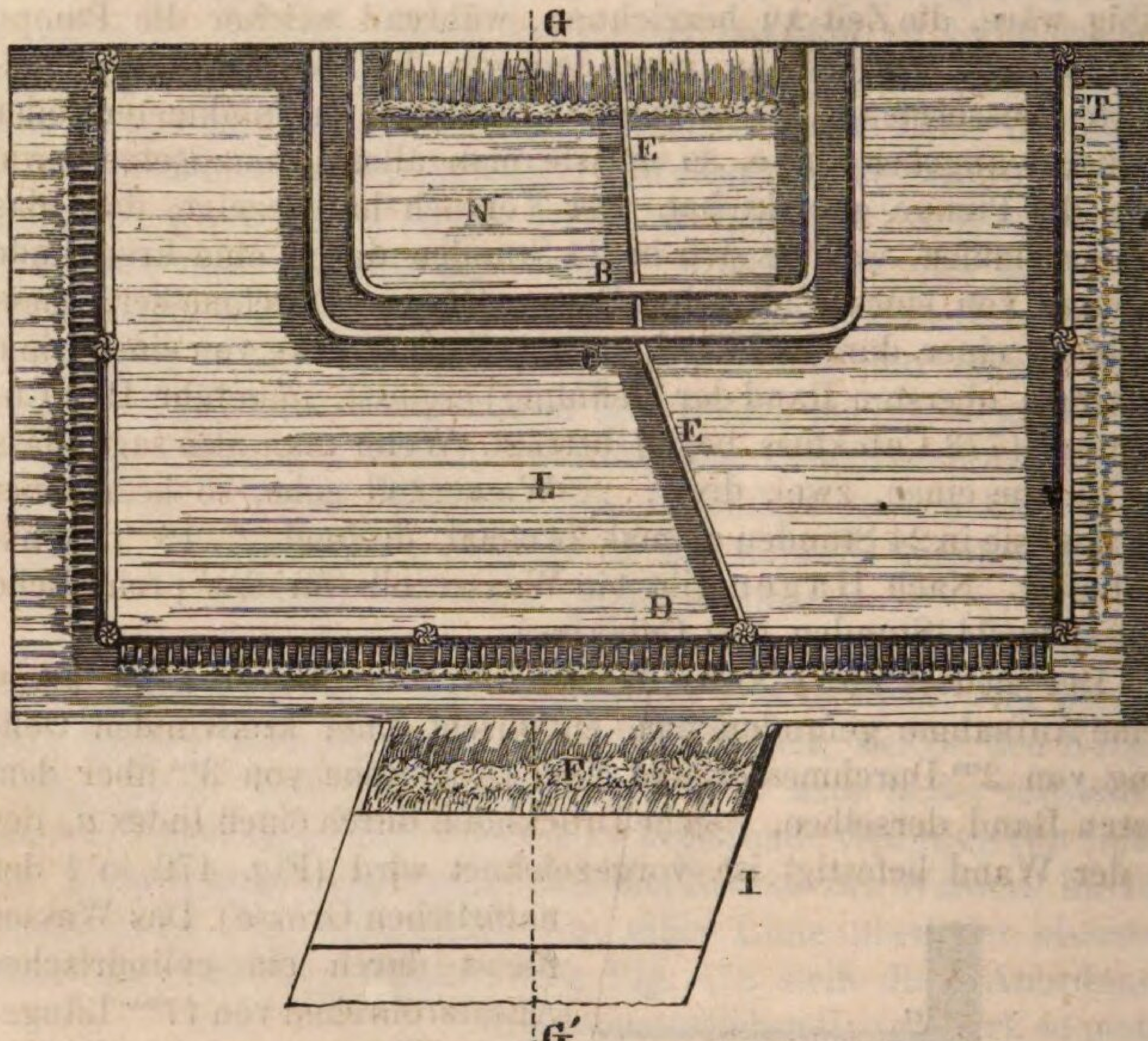


Fig. 480 (Masstab 20 : 1000).

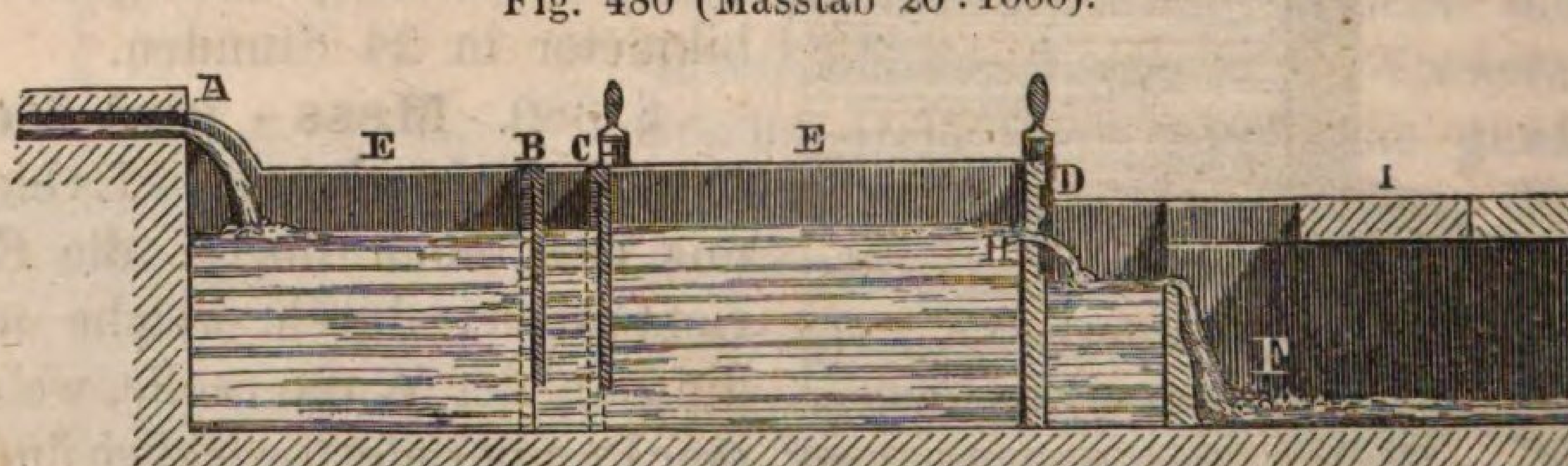


Fig. 481.

Beckens; sie gehen nicht ganz bis auf den Grund herab (Fig. 481) und haben lediglich den Zweck, zu verhindern, dass die Bewegungen an der Oberfläche, welche durch das bei A einfallende Wasser hervorgerufen werden, sich in den übrigen Theil L des Beckens fortpflanzen; das Wasser kann von N nach L nur dadurch gelangen, dass es unter den beiden Scheidewänden B,C durchgeht, und seine freie Oberfläche ist daher in dem ganzen Theil L des Beckens vollkommen ruhig gehalten. Die Scheidewand D, welche die Grenze des Beckens bildet und sich nach drei verschiedenen Richtungen er-

streckt, trägt in ihrer ganzen Länge eine grosse Zahl von Oeffnungen H, die so, wie die in Fig. 479 dargestellte, eingerichtet sind. Das Wasser, welches sich durch diese Oeffnungen aus dem Becken ergiesst, fällt in eine Rinne, welche die Scheidewand D von aussen ihrer ganzen Länge nach umgibt; von hier aus fällt es bei F in einen gedeckten Kanal herab, durch welchen es an das andere Ende der Wasserleitung abgeführt wird. Eine Scheidewand EE theilt das Becken LN in zwei völlig getrennte Theile; der zur Rechten empfängt das Wasser von den Pumpen, welche durch die Wasserräder bewegt werden; der zur Linken dagegen erhält das Wasser von den durch die Dampfmaschine getriebenen Pumpen (§. 377). In Folge dieser Einrichtung vereinigt sich das Wasser, welches von den beiden Pumpwerken kommt, nicht eher, als bis es die Oeffnungen der Scheidewand D durchdrungen hat, d. h. bis es auf die Weise, die nun näher beschrieben werden soll, gemessen worden ist.

Wenn man annimmt, dass das Wasser aus dem Becken LN stets durch dieselbe Anzahl von Löchern der Scheidewand D ausfliesst, so versteht sich von selbst, dass sein Niveau in diesem Becken mehr oder weniger hoch über diesen Oeffnungen stehen muss, je nachdem die Pumpen in derselben Zeit mehr oder weniger Wasser liefern. In der That wird sich dieses Niveau immer so stellen, dass die Ausflussgeschwindigkeit der Flüssigkeit durch die Oeffnungen der Scheidewand D eine Grösse erhält, bei welcher die Ausflussmenge des Wassers in irgend einer gegebenen Zeit genau gleich derjenigen Wassermenge ist, welche die Pumpen in dieser Zeit zuführen. Wenn man dagegen eine gewisse Zahl der Oeffnungen der Scheidewand D durch Korkpfropfen, wie man sie bei T (Fig. 480) sieht, verschliesst, so steigt in Folge dessen der Spiegel des Wassers in dem Becken LN, vorausgesetzt, dass die Pumpen noch die nämliche Wassermenge liefern. Denn in dem Maasse, als man die Zahl der Ausflussöffnungen vermindert, muss sich die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser jede dieser Oeffnungen durchdringt, vergrössern, damit nach wie vor dieselbe Wassermenge ausfliessen kann. Man kann also, je nachdem man eine grössere oder geringere Anzahl der Oeffnungen verschliesst, die Höhe des Wasserspiegels in dem Becken LN nach Belieben verändern; und man benützt diess, um dieses Niveau allemal mit einem an der Scheidewand D befestigten Index zusammenfallen zu machen, welcher Index in Fig. 479 mit *a* bezeichnet worden ist. Wenn man es auf diese Weise dahin gebracht hat, dass das Niveau einige Zeit hindurch beständig in der Höhe des Zeigers stehen bleibt, so darf man nur

die noch offen gebliebenen Löcher zählen, um unmittelbar die Zahl der Wasserzolle zu erhalten, welche die Pumpen liefern.

In dem Messbecken der Wasserleitung von Marly ist der Theil des Reservoirs, welcher zum Messen des durch die Wasserräder zugeführten Wassers dient, mit 60 Oeffnungen versehen; der Theil, welcher dem durch die Dampfmaschine gelieferten Wasser entspricht, enthält 90 Löcher. Wenn man z. B. finden würde, dass die Pumpen, welche durch die Wasserräder bewegt werden, 60 Wasserzolle auf die Höhe der Wasserleitung heben, wie es der Fall sein soll, wenn sie in voller Thätigkeit sind, so würde diess heissen, dass sie 60mal 20 oder 1200 Cubikmeter Wasser in 24 Stunden liefern; wenn man beachtet, dass die Höhe, auf welche das Wasser gehoben wird, 155^{m} beträgt, so ist es nicht schwer, hieraus die Anzahl der Pferdekräfte, welche der angegebenen Nutzarbeit entsprechen, zu berechnen. Die Nutzarbeit, welche in 24 Stunden geleistet wird, ist gleich $186\,000000^{km}$; in einer Secunde beträgt sie also 2153^{km}, welche 28,7 Pferdekräften entsprechen. In Folge der Arbeitsverluste durch die passiven Widerstände, durch die stattfindenden Stösse u. s. w., die ja bekanntlich nie ganz vermieden werden können, müssen natürlich die beiden Wasserräder, welche die Pumpen zu Marly treiben, eine grössere Bewegungsarbeit als 28,7 Pferdekräfte liefern.

Die Vertheilung des Wassers in die verschiedenen Theile einer Stadt, selbst auch noch unter die verschiedenen Privaten, die ein Recht darauf haben, geschieht mittelst ganz ähnlicher Becken, wie die Messbecken, die wir eben beschrieben haben. Die ganze zu vertheilende Wassermenge ergiesst sich in ein Reservoir, aus welchem es durch Oeffnungen, die an seinem ganzen Umfange angebracht sind, wieder ausfliesst. An dem Reservoir sind Röhren (oder auch Kanäle) angebracht, in welche sich diese ausfliessende Wassermasse so vertheilt, dass jede von ihnen das Wasser aufnimmt, das aus einer bestimmten Anzahl der Oeffnungen fliesst.

§. 381. **Verschiedene Systeme von Lampen.** — Man hat für die Apparate, welche zur Beleuchtung dienen, und die gewöhnlich Lampen genannt werden, eine Menge von verschiedenen Einrichtungen erdacht. Die wichtigsten derselben werden wir nun näher beschreiben; sie sind eine Anwendung einer grossen Anzahl von Gesetzen, die wir bisher kennen gelernt haben.

In den Lampen wird das Licht durch die Verbrennung von Oel erzeugt. Um diese Verbrennung zu bewerkstelligen, wendet man einen Docht an, welcher zum grössten Theil in das Oel eintaucht; der Theil des Dochtes, welcher über die Flüssigkeit hervorragt,

saugt sich in Folge der Capillarität mit derselben vollständig an, und dieser Theil ist es, welcher angezündet wird. In dem Maasse, als das Oel verbrennt, steigen neue Quantitäten desselben in den capillaren Räumen des Dochtes auf, und dieser verkohlt daher nur in einem sehr kleinen Theil. Um die Verbrennung lebhafter und vollständiger zu machen und dadurch ein schöneres helleres Licht zu bekommen, gibt man dem Dochte die Form eines hohlen Cylinders und bringt ihn in den ringförmigen Raum, der zwischen zwei concentrischen Röhren aus Weissblech gebildet wird; in diesen ringförmigen Raum wird auch das Oel geleitet und erhebt sich in demselben bis zum obersten Ende der beiden Röhren: der Docht, welcher auf diese Weise in das Oel eintaucht, ragt noch etwas über jenes Ende hervor und brennt, wenn er angezündet wird, an dem ganzen Umfang seines obersten Randes. Ausserdem umgibt man den Brenner der Lampe ringsum mit einer Glasröhre (Cylinder genannt), welche sich zwei bis drei Decimeter über den Punkt erhebt, wo die Verbrennung stattfindet. Dieser Cylinder hat denselben Zweck, wie ein Kamin: in Folge der Temperaturerhöhung, welche durch die Verbrennung hervorgebracht wird, bildet sich in seinem Inneren ein rasch aufsteigender Luftstrom, der der Flamme sowohl innerhalb des hohlen Brenners, als auch an dem äusseren Umfange desselben, fortwährend Luft zuführt. Gewöhnlich verengen sich die Cylinder, welche man an den Brennern der Lampen anbringt, plötzlich in geringer Entfernung von ihrem unteren Ende; diese Verengung hat den Zweck, die aufsteigende Luft, welche ohne sie vertikal in die Höhe gehen würde, von dieser Richtung abzulenken und dem äussern Umfang der Flamme mehr zu nähern.

Die Einrichtung, welche eben beschrieben worden ist, findet sich bei allen Lampen, welche ein auch nur etwas schönes Licht hervorbringen sollen. Die Verschiedenheit zwischen den verschiedenen Arten von Lampen besteht im Wesentlichen in dem Mittel, welches angewandt wird, um das Oel bis zum obersten Theil des Brenners zu leiten; aber die verschiedenen Einrichtungen, welche man zu diesem Behufe erdacht hat, bekunden die Schwierigkeiten, welchen man begegnet, wenn man diesem Zweck in genügender Weise entsprechen will. In der That sind dabei folgende Bedingungen zu befriedigen: 1) Das Oel soll in dem Brenner fortwährend in gleicher Höhe mit seinem obersten Rande erhalten werden; 2) es muss verhindert werden, dass das Oel, indem es über den Brenner heraustritt, herabtropft und die unter der Lampe befindlichen, ihm erreichbaren Gegenstände befleckt; 3) das Licht muss sich rings um die Lampe nach allen Richtungen hin verbreiten

können; es müssen also solche Einrichtungen vermieden werden, wo gewisse Theile der Lampe das Licht aufhalten und ihren Schatten auf die umgebenden Körper werfen können. Sehen wir nun, wie man dazu gelangt ist, diese verschiedenen Bedingungen mehr oder weniger vollständig zu befriedigen.

§. 382. Die Fig. 482 zeigt eine Lampe, in welcher das Niveau des Oels im Brenner nach dem Gesetz des Gleichgewichts der Flüssigkeiten in communicirenden Gefässen hergestellt wird (§. 245). Das Oel ist in dem ringförmigen Behälter *aa* enthalten; zwei geneigte Kanäle *b,b* führen es in den unteren Theil des Brenners, welcher die Mitte jenes ringförmigen Behälters einnimmt. In *c* sieht man eine Oeffnung, die gewöhnlich geschlossen ist, und durch welche das Oel in den Behälter eingegossen wird. Eine kleine kegelförmige Erhöhung *d* des letzteren trägt an ihrer Spitze ein kleines Loch, welches der atmosphärischen Luft gestattet, frei ihren Druck auf die Flüssigkeit im Behälter ausüben zu können. In Folge dieser Anordnung steht das Niveau des Oels im Brenner immer in gleicher Höhe mit dem im Behälter *aa*; es senkt sich also allmälig in dem Maasse, als das Oel verbrennt. Aus diesem Grunde gibt man dem Oelbehälter nur eine geringe Höhe, dagegen einen um so grösseren horizontalen Querschnitt. Daraus folgt, dass sich das Niveau des Oels im Brenner nur sehr wenig ändert. Wenn der Behälter ganz voll ist, so steigt die Flüssigkeit bis zum obersten Rand des Brenners; ihre Oberfläche senkt sich in dem Maasse, als der Behälter leerer wird; aber die Berührung mit dem Metall verhindert die Flamme, zu gleicher Zeit an dem Dochte herabzusteigen und es muss folglich die Intensität des Lichtes allmälig abnehmen.

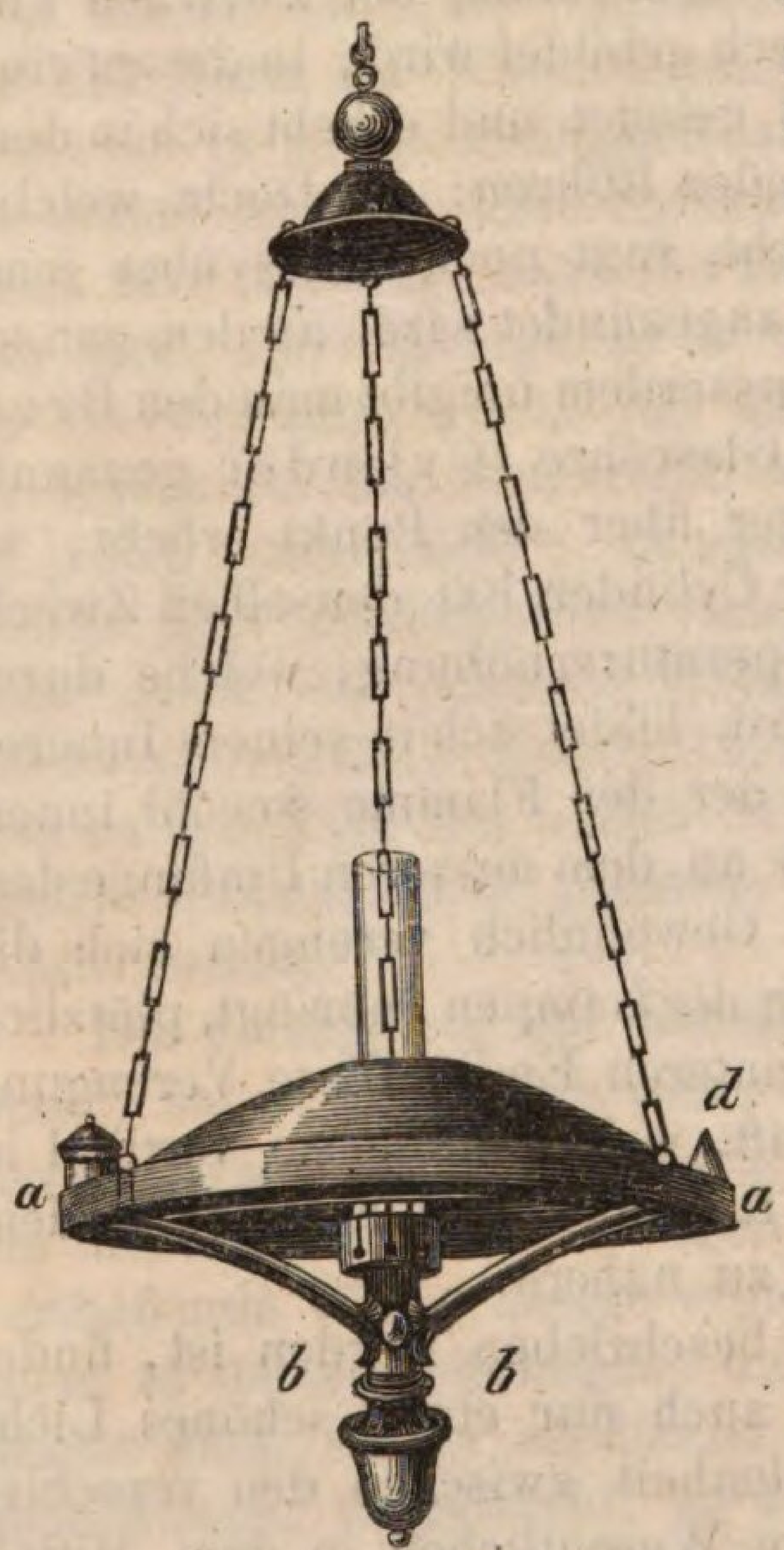


Fig. 482.

An dem untersten Theil des Brenners ist ein Becherchen befestigt, um die kleinen Mengen Oel, welche aussen über den Brenner herabfliessen können, aufzunehmen. An dem oberen Theil dieses Becherchens sind einige Löcher angebracht, durch welche die Luft

eindringen und, innerhalb des Brenners emporsteigend, mitten durch die Flamme hindurch gehen kann. In Folge der Form des Behälters und seiner Lage im Verhältniss zum Brenner kann sich das Licht ungehindert auf alle Gegenstände ausbreiten, die unter der Lampe gelegen sind. Blos die Kanäle *b,b* können in dieser Beziehung ein Hinderniss bieten; aber dieselben sind nur ganz schmal und können daher nur sehr geringen Einfluss ausüben. Diese Art von Lampen passen also, was ihre Anordnung anbelangt, sehr wohl zur Beleuchtung von Arbeits- und anderen Tischen, und im Allgemeinen in all den Fällen, wo das Licht auf alle die Gegenstände, die in dem unteren Theil eines Zimmers gelegen sind, geworfen werden soll; sie haben aber den Nachtheil, dass ihr Licht nicht von constanter Intensität ist.

§. 383. Man hat den Nachtheil, welcher aus einer allmäligen Senkung des Oelniveaus im Brenner entspringt, dadurch zu vermeiden gesucht, dass man durch Anwendung des oben (§. 272) beschriebenen Mittels dieses Niveau in constanter Höhe erhält. Die Fig. 483 zeigt eine Lampe, welche nach dieser Idee construirt ist. Ein Gefäss *a*, welches die Form einer Flasche mit Tubulus hat, ist in ein anderes Gefäss *b* gestellt, das, nach oben offen, eine ähnliche Gestalt wie das erstere besitzt. Das Gefäss *a* ist umgestürzt, d. h. seine Oeffnung ist nach unten gekehrt, und es stützt sich mittelst eines Wulstes, mit dem es oben versehen ist, auf den oberen Rand des Gefässes *b* und hängt also eigentlich in das Letztere hinein. Das Oel, welches man ursprünglich in das Gefäss *a* eingiesst, kann nicht frei aus demselben ausfliessen, weil der Raum, der über seiner freien Oberfläche gelegen ist, nicht mit der atmosphärischen Luft in Verbindung steht; das Oel geht nur dann aus dem Gefäss *a* in

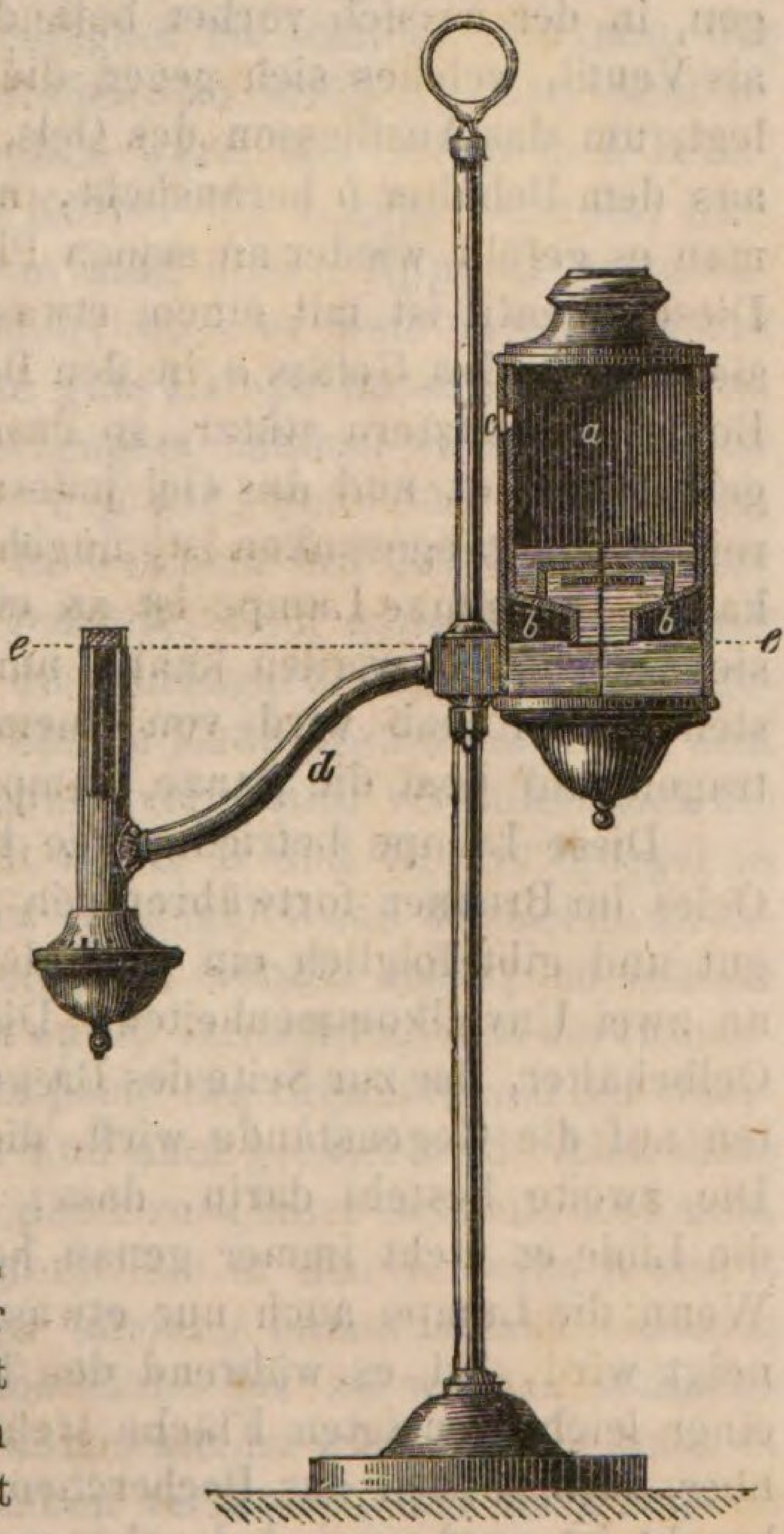


Fig. 483.

das *b* über, wenn sich das Niveau in dem letzteren so weit gesenkt hat, dass durch den Tubulus *a* des ersten eine Luftblase eindringen kann. Man sieht, dass auf diese Weise das Niveau des Oeles im Inneren des Behälters *b* fortwährend in gleicher Höhe mit dem unteren Rand des Tubulus erhalten wird. Eine Seitenöffnung *o* in der Wand des Gefässes *b* gestattet ausserdem der äusseren Luft den Zutritt, sodass die freie Oberfläche des Oeles in diesem Gefäss dem Drucke der atmosphärischen Luft ausgesetzt ist. Eine Röhre *d* führt das Oel des Behälters *b* in den Brenner, dessen oberes Ende in der Horizontalebene *ee* gelegen ist, welche durch den unteren Rand des Tubulus des Gefässes *a* hindurch geht.

Um das Oel in das Gefäss *a* einzugiessen, hebt man es aus dem Behälter *b* und kehrt es um, sodass die Oeffnung nach oben gekehrt ist; man füllt es in dieser Stellung mit dem Oel und kehrt es dann wieder um, um es wieder in die Stellung zu bringen, in der es sich vorher befand. Eine kleine Metallscheibe dient als Ventil, welches sich gegen die innere Oeffnung des Tubulus anlegt, um das Ausfliessen des Oels, sowohl wenn man das Gefäss *a* aus dem Behälter *b* heraushebt, um es zu füllen, als auch, wenn man es gefüllt wieder an seinen Platz zurückbringt, zu verhindern. Dieses Ventil ist mit einem etwas langen Stab versehen, welcher sich, wenn das Gefäss *a* in den Behälter *b* gebracht ist, gegen den Boden des letztern stützt, so dass der Tubulus fortwährend offen gehalten wird, und das Oel jedesmal, wenn das Niveau in *b* hinreichend herabgesunken ist, ungehindert aus dem Gefäss *a* austreten kann. Die ganze Lampe ist an einem Stabe befestigt, längs dessen sie verschoben werden kann, um sie in beliebiger Höhe festzustellen; der Stab wird von einem schweren und breiten Fuss getragen, auf dem die ganze Lampe ruht.

Diese Lampe befriedigt die Bedingung, dass das Niveau des Oeles im Brenner fortwährend in gleicher Höhe bleiben soll, recht gut und gibt folglich ein sehr gleichmässiges Licht; aber sie leidet an zwei Unvollkommenheiten. Die erste besteht darin, dass der Oelbehälter, der zur Seite des Brenners angebracht ist, seinen Schatten auf die Gegenstände wirft, die auf dieser Seite gelegen sind. Die zweite besteht darin, dass, da die Lampe transportabel ist, die Linie *ee* nicht immer genau horizontal gehalten werden kann. Wenn die Lampe auch nur etwas nach der Seite des Brenners geneigt wird, sei es während des Transports, sei es, dass sie auf einer leicht geneigten Fläche steht, so fliesst das Oel am Brenner über, füllt schnell das Becherchen, welches unter denselben angebracht ist, und wird dadurch vergossen.

§. 384. Die vortheilhafteste Einrichtung, welche man einer Lampe geben kann, wäre offenbar die, bei welcher der Brenner in beliebiger Höhe vertikal über dem Oelbehälter angebracht wäre. In der That wäre es dadurch vermieden, zur Seite des Brenners Körper anbringen zu müssen, die sich der Ausbreitung des Lichtes nach dieser Seite hin entgegenstellen; andererseits könnte das Oel, welches oben bei dem Brenner überfliesst, in den Oelbehälter oder auch in ein besonderes Gefäss zurückfallen, das gross genug wäre, um nicht ein Vergiessen desselben befürchten zu müssen. Die ganze Schwierigkeit, welche sich der Verwirklichung dieser Anordnung entgegenstellt, besteht darin, das Oel aus dem Behälter bis an den oberen Theil des Brenners hinaufsteigen zu machen und diese Bewegung in völlig regelmässiger Weise zu bewerkstelligen. Sehen wir, welche Mittel man angewandt hat, um diesen Zweck zu erreichen.

Der Heronsbrunnen, von dem wir oben (§. 315) gesprochen haben, scheint in hohem Grade geeignet zu sein, die Aufgabe, die wir uns in diesem Augenblicke stellen, zu erfüllen; man sieht in der That, dass es durch ihn möglich wäre, das Oel in dem Brenner, welcher sich frei über dem Körper der Lampe befindet, hinaufsteigen zu machen. Aber wenn man diesen Apparat aufmerksam betrachtet, so wird man sehen, dass er weit davon entfernt ist, den Bedingungen, welche eine gute Lampe zu erfüllen hat, zu genügen. Um uns davon zu überzeugen, nehmen wir an, dass eine Lampe so, wie die Röhre ABC (Fig. 427, Seite 565) eingerichtet sei, und dass sich der Brenner, in welchem das Oel des Behälters C durch die Oelsäule AB hinaufgedrückt wird, gerade so hoch über dieses Gefäss erhebe, dass sich die Flüssigkeit darin im Gleichgewicht befindet, ohne an seinem oberen Ende auszufliessen. In dem Maasse, als das Oel oben am Brenner verbrennt, verändern sich die freien Oberflächen der Flüssigkeit in A, B und C; die Spiegel in A und C sinken, während der in B steigt. Wenn das Oel im Brenner immer auf derselben Höhe erhalten werden sollte, so müsste sich die Spannkraft der Luft in B und C vermehren, weil der Höhenunterschied zwischen dem oberen Ende des Brenners und der Oberfläche der Flüssigkeit in C nach und nach grösser wird. Aber diese Spannkraft der Luft wird durch den Druck einer Oelsäule bestimmt, deren Höhe gleich dem Niveauunterschied in den Gefässen A und B ist; und dieser Unterschied wird allmälig immer kleiner, anstatt grösser. Man sieht also, dass die Höhe bis zu welcher sich das Oel im Brenner erhebt, allmälig immer kleiner wird, in dem Maasse, als eine grössere Quantität desselben verbrennt, und dass folglich das Licht, welches die Lampe liefert, keineswegs gleichmässig ist.

Aber wenn auch der Heronsbrunnen in der bereits beschriebenen Gestalt die Aufgabe, welche man sich gesetzt hat, nicht erfüllen kann, so reicht es doch hin, einige Aenderungen an ihm anzubringen, um es dahin zu bringen, dass er das Oel in dem Brenner der Lampe stets bis zur nämlichen Höhe emporsteigen macht. Diese Modification des Heronsbrunnens zeigt die Fig. 484.

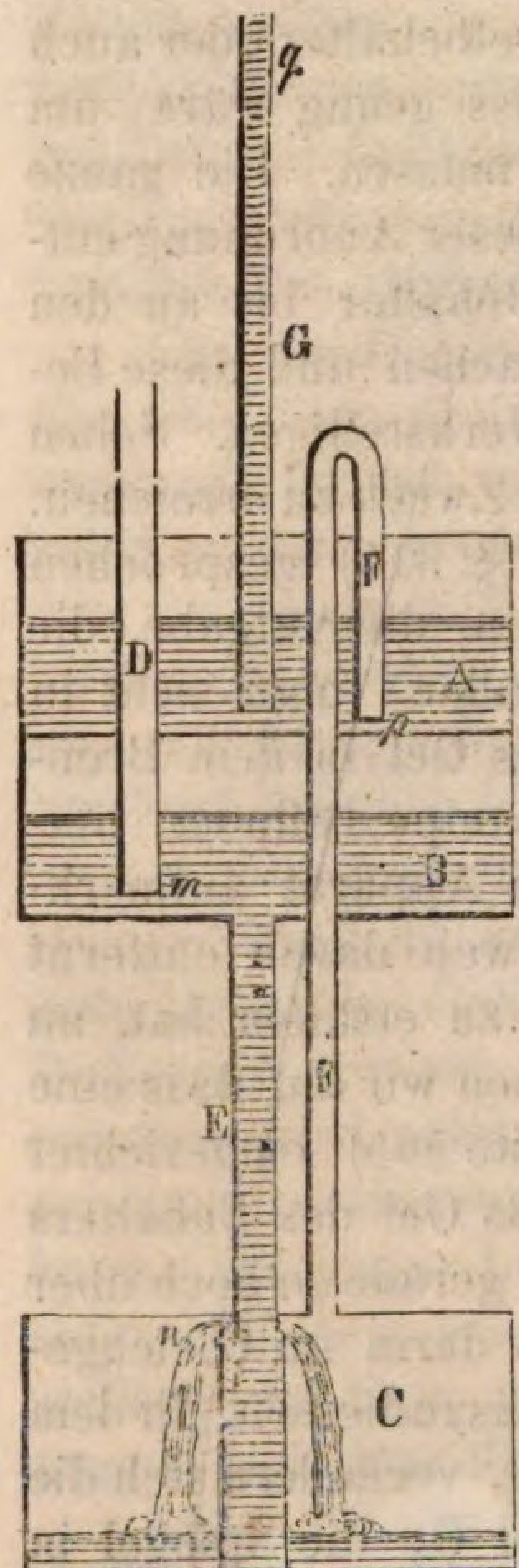


Fig. 484.

Drei Kammern A,B,C sind von allen Seiten vollständig geschlossen und können sowohl unter sich, als mit der Atmosphäre nur durch die Röhren D,E,F,G communiciren. Setzen wir voraus, dass man ursprünglich in A und B Oel durch irgend ein Mittel eingegossen habe. Auf das Oel im Gefässe B übt die atmosphärische Luft durch die Röhre D hindurch frei ihren Druck aus; dieses Oel fliesst daher die Röhre E herab in den Raum C; die in diesem Raume über dem Oele gelegene Luft wird zusammengedrückt und übt daher, indem sie die Röhre FF durchdringt, auf das Oel im Gefässe A einen Druck aus; dieses Oel endlich erhebt sich in Folge dieses Druckes in der Röhre G, welche an ihrem obersten Ende frei mit der atmosphärischen Luft in Verbindung steht. Wenn sich die Röhre G oben in einen Brenner endigt, und es wird das Oel, welches an denselben gelangt, allmälig verbrannt, so sieht man, dass die Oberfläche der Flüssigkeit in den Gefässen A und B sinkt und zu gleicher Zeit in C steigt; es scheint also, dass, da sich der Niveauunterschied in B und C vermindert, die Spannkraft der inneren Luft abnimmt und folglich, wie in dem Apparat der Fig. 427, die Flüssigkeit in der Röhre G auf eine immer geringer werdende Höhe gehoben wird. Aber man muss beachten, dass die atmosphärische Luft ihren Druck nicht auf die Oberfläche des Oels in B ausübt; dieser Druck findet vielmehr an dem unteren Ende *m* der Röhre D und folglich in der ganzen Horizontalebene statt, welche durch *m* hindurch in der Flüssigkeit gedacht wird. Ferner taucht die Röhre E nicht unmittelbar in das Oel des Gefässes C, sondern in ein breiteres Röhrenstück inmitten dieses Gefässes, welches Röhrenstück folglich fortwährend bis *n* mit Oel gefüllt ist; die Lage des Oelniveaus in C hat in Folge dessen keinen Einfluss auf die Spann-

kraft der über ihm stehenden Luft. Diese Spannkraft muss offenbar diejenige der atmosphärischen Luft um eine Grösse übersteigen, welche durch den Höhenunterschied der beiden Punkte *m* und *n* bestimmt ist und sich folglich mit der Lage der freien Oberflächen des Oels in B und C nicht ändert. Die Luft, welche durch die Röhre FF in das Reservoir A gelangt, übt folglich einen constanten Druck in demselben aus, und weil dieser Druck nicht auf die freie Oberfläche des Oels in A, sondern an dem unteren Ende *p* der gebogenen Röhre FF stattfindet, so folgt daraus, dass er das Oel in der Röhre stets bis zu der nämlichen Höhe *q* über dem Punkte *p* empor hebt.

Diese sinnreiche Modification des Heronsbrunnens, um ihn zur Construction von Lampen anwendbar zu machen, rührt von Girard her. Die Lampen, welche nach diesem System construirt sind, haben den Namen hydrostatische Lampen erhalten. Aus theoretischem Gesichtspunkte befriedigen sie alle Bedingungen, welche eine gute Lampe erfüllen muss. Aber sie sind, da sie nur unbequem zu füllen und noch schwieriger zu reinigen sind, fast ganz ausser Gebrauch gekommen.

§. 385. Um das Oel in gleichmässiger Weise in einem, über dem Behälter desselben gelegenen Brenner emporsteigen zu machen, wendet man jetzt ausschliesslich einen Motor an, der in dem Körper der Lampe, sei es unter dem Oelbehälter oder in diesem Gefäss selbst, angebracht ist. Die ersten Lampen dieser Art, welche construirt worden sind, sind die nach ihrem Erfinder so genannten Carcel'schen Lampen. Bei diesen Lampen setzt ein Uhrwerk, das durch eine Feder, ähnlich derjenigen der Figuren 263 und 264 (Seite 328), bewegt wird, und dessen Bewegung der Flügelapparat der Figur 266 (Seite 330) regulirt, Druckpumpen in Thätigkeit, welche das Oel bis zu dem oberen Theil des Brenners emporheben. Diese Pumpen sind von besonderer Art. Zwei rechteckige Kammern A,B (Fig. 485), die in keinerlei Verbindung mit einander stehen, bilden sozusagen die Pumpenstiefel. An einer der Seitenflächen dieser Kammern sind zwei kreisrunde Oeffnungen C,D angebracht, welche durch zwei nichtgespannte Membranen genau verschlossen werden; diese Membranen kön-

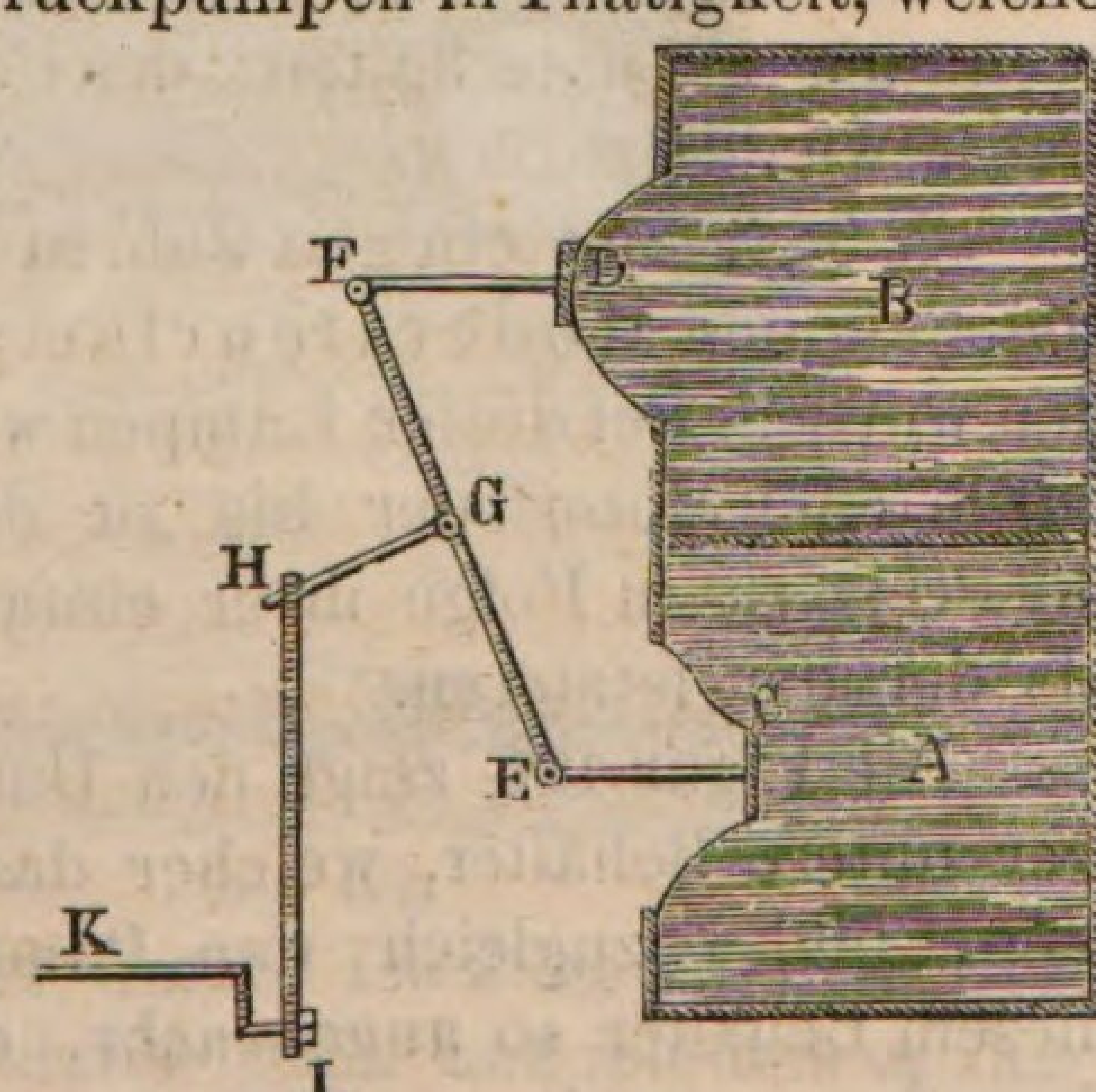


Fig. 485.

nen in das Innere jener Kammern hineingedrückt, und wieder aus denselben herausgezogen werden. Zwei kleine Metallscheiben, die an diesen Membranen befestigt sind, tragen die Stäbchen CE und DF; ein Hebel EF, welcher sich um eine vertikale Axe G drehen kann, ist an seinen beiden Enden mit den Stäben dieser Art von Kolben verbunden; ein zweiter Hebel GH, der an derselben Axe G befestigt ist, steht mit einer Kurbel I in Verbindung, die an dem Ende einer horizontalen Welle K sitzt, welcher das Uhrwerk eine gleichförmige Rotationsbewegung ertheilt. Die Kurbel I drückt und zieht abwechselnd durch Vermittlung der Lenkstange HI an dem Hebel GH; die Axe G welche auf diese Weise eine oscillirende Rotationsbewegung erhält, theilt den Stäben CE und DF eine hin- und hergehende Bewegung mit, und die Membranen C und D werden folglich abwechselnd in das Innere der Kammern A und B hineingedrückt und wieder herausgezogen. Der Rauminhalt jeder der Kammern A und B wird also bald vermehrt, bald vermindert, ganz so, als wenn im Innern derselben ein Kolben, der dicht an ihren Wänden anschliesst, hin- und her bewegt würde. Ein Ventil gestattet dem Oel des Behälters in jeden der Pumpenstiefel einzudringen, dessen Rauminhalt sich eben vergrössert; wenn sich dann aber dieser Raum wieder verringert, so schliesst sich dieses Ventil, und das Oel wird, indem es ein anderes Ventil öffnet, in einer Steigröhre in die Höhe gedrückt. Die aufsteigende Bewegung des Oels ist merklich gleichmässig, weil zwei Pumpen angewandt werden, die sich im entgegengesetzten Sinne bewegen; das Oel wird also in der gemeinschaftlichen Steigröhre, mit der diese Pumpen in Verbindung stehen, fortwährend aufwärts getrieben.

Bei den Carcel'schen Lampen sind die Pumpen so eingerichtet, dass sie mehr Oel emporheben, als nothwendig ist, um die Verbrennung zu unterhalten; der Ueberschuss fällt in den Oelbehälter selbst wieder zurück.

§. 386. Seit einigen Jahren bedient man sich sehr häufig der sogenannten Moderateurlampen, die von Franchot erfunden wurden. Bei diesen Lampen wird das Oel, wie in den Carcel'schen, durch eine Motorfeder bis zu dem Brenner hinaufgedrückt; aber ihr Preis ist in Folge ihrer einfacheren Construktion viel niedriger als der der letzteren.

Die Figur 486 zeigt den Durchschnitt einer Lampe dieser Art. Der untere Behälter, welcher dazu bestimmt ist, das Oel aufzunehmen, bildet zugleich den Pumpenstiefel. Ein Kolben A ist in diesem Behälter so angebracht, dass er sich genau an die Wände desselben anschliesst. Eine Spiralfeder, die einerseits an dem Kol-

ben, andererseits an der oberen Wand des Behälters befestigt ist, übt fortwährend einen Druck auf den Kolben aus; dieser Druck überträgt sich auf das Oel, das sich unmittelbar unter dem Kolben befindet, und nöthigt es, durch die Steigröhre CC aufzusteigen, welche es dem Brenner zuführt. In dem Maasse, als der Kolben abwärts geht, vermindert sich die Spannung der Feder; zu gleicher Zeit vergrössert sich die Höhe, auf welche das Oel gehoben werden soll, und aus diesen beiden Ursachen würde sich die Geschwindigkeit, mit welcher das Oel dem Brenner zugeführt wird, allmälig verringern. Aber mittelst einer besonderen Einrichtung ist es gelungen, die aufsteigende Bewegung der Flüssigkeit merklich gleichmässig zu machen. Diese Einrichtung ist folgende:

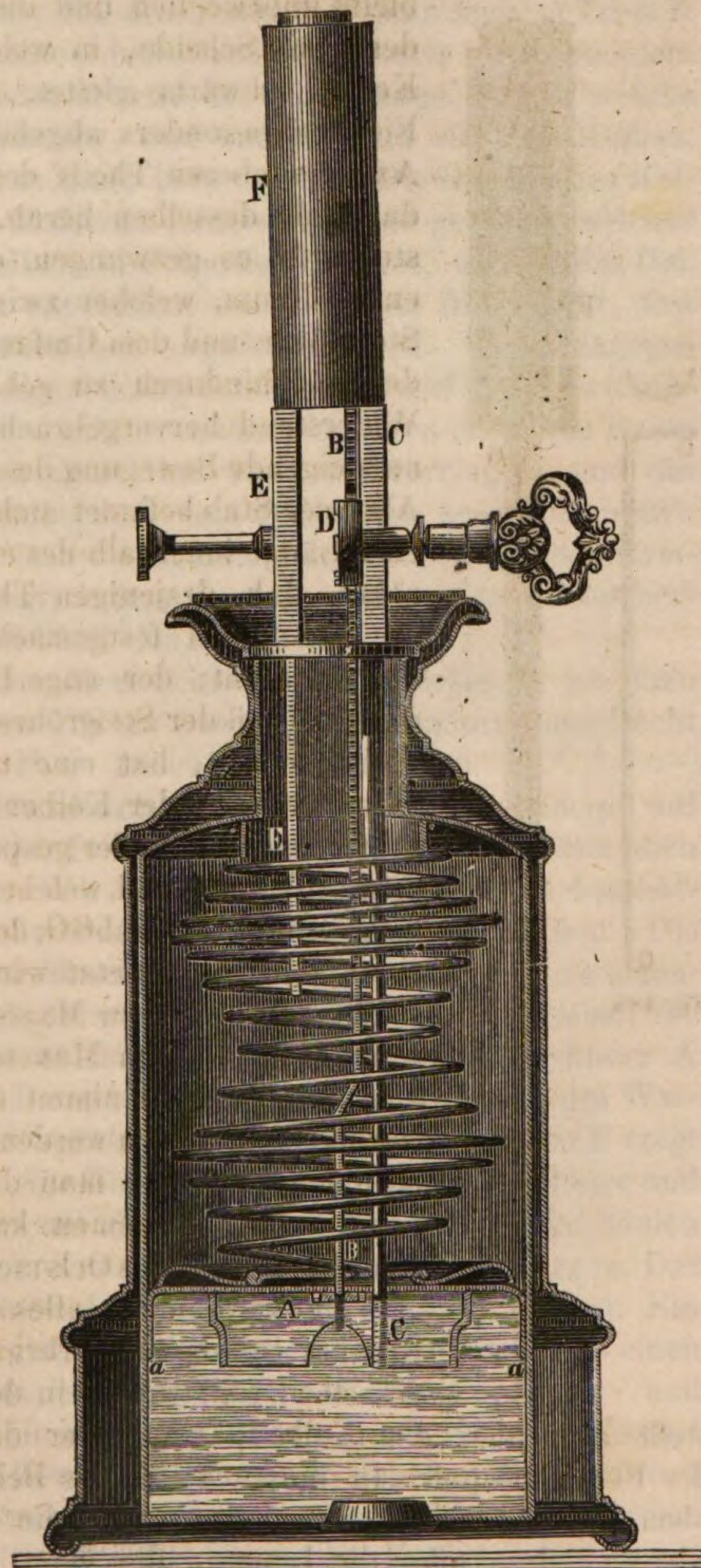


Fig. 486.

Die Steigröhre C besteht aus zwei Theilen, die zum Theil in einander eindringen (Fig. 487). Der untere Theil ist an dem Kolben befestigt, durch welchen er hindurch geht, und mit dem er sich unter der Wirkung der Motorfeder herabsenkt. Der obere Theil dagegen

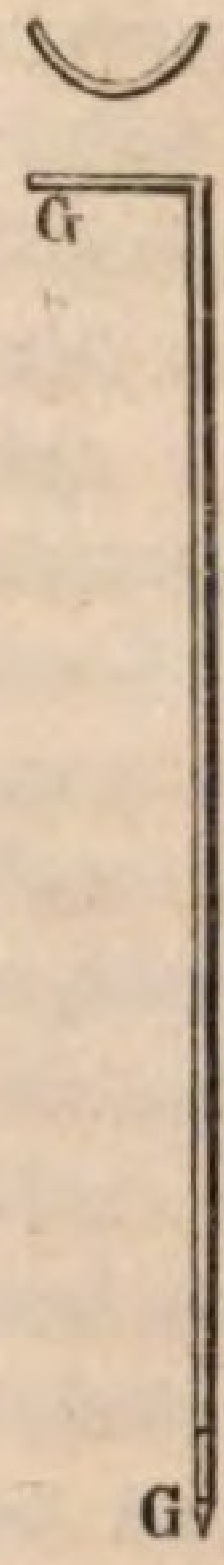


Fig. 488.

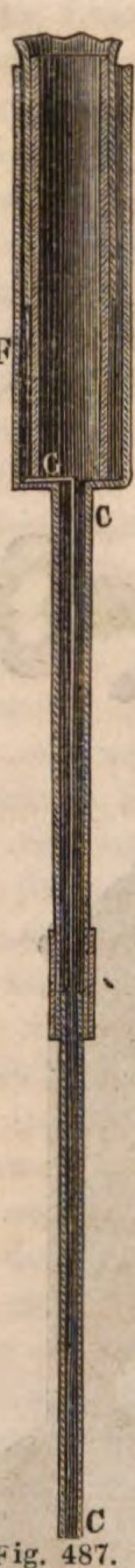


Fig. 487.

bleibt unbeweglich und dient sozusagen dem anderen als Scheide, in welcher derselbe mit dem Kolben abwärts gleitet. Ein Stab GG, der in Fig. 488 besonders abgebildet ist, geht längs der Axe des oberen Theils der Steigröhre CC bis an das Ende desselben herab. Indem das Oel emporsteigt, ist es gezwungen, durch den ringförmigen engen Raum, welcher zwischen den Wänden der Steigröhre und dem Umfang dieses Stabes vorhanden ist, hindurch zu gehen. Dadurch wird ein Widerstand hervorgebracht, in Folge dessen die aufsteigende Bewegung des Oels sehr langsam ist. Aber der Stab befindet sich nicht immer mit gleicher Länge innerhalb des engsten Theils der Steigröhre, d. h. desjenigen Theils dieser Röhre, der an dem Stiefel festgemacht ist und mit diesem abwärts geht; der enge Durchgang, welcher in diesem Theil der Steigröhre rings um den Stab GG vorhanden ist, hat eine um so grössere Länge, je höher noch der Kolben steht und folglich je stärker noch die Feder gespannt ist. Man sieht also, dass der Widerstand, welcher der Bewegung der Flüssigkeit durch den Stab GG, den man den M o d e r a t o r nennt, entgegengesetzt wird, mehr und mehr geringer wird, in dem Maasse, als der Kolben abwärts geht, in dem Maasse also, als die Spannkraft der Feder abnimmt und die Höhe, auf welche das Oel gehoben werden muss, sich vergrössert. Man begreift, dass man die Dimensionen des Moderators so bestimmen kann, dass die aufsteigende Bewegung des Oels merklich regelmässig wird.

Es wird nicht alles Oel, welches an dem Brenner ankommt, verbrannt; ein gewisser Theil desselben fällt wieder in den Behälter herab und stellt sich über den Kolben, sodass er die unteren Windungen der Feder bespült. In diesen Theil des Behälters wird auch von oben her das Oel gegossen, wenn man die Lampe füllt. Nehmen wir an, dass man die Lampe, die eben frisch mit Oel gefüllt worden ist, in Thätigkeit setzen, oder auch, dass man, nachdem die Lampe längere Zeit in Thätigkeit war und der Kolben am untersten Punkte seines Laufes angekommen ist, alles Oel, welches über dem Kolben steht und vom Brenner herabgefallen ist, unter

den Kolben bringen wolle. Zu dem Ende darf man nur das Trieb D mittelst eines an demselben befestigten Schlüssels in passendem Sinne herumdrehen. Dadurch wird die Zahnstange BB, in welche jenes Trieb eingreift, gehoben, und mit ihr hebt sich der Kolben, welcher an ihrem unteren Ende befestigt ist. Die Ränder des Kolbens sind durch einen einfachen Lederstreifen *aa* gebildet, welcher beim Herabgehen des Kolbens in Folge des Druckes, welcher das Oel, das auf allen Seiten zu entweichen sucht, gegen ihn ausübt, fest gegen die Wände des Behälters angedrückt wird. Wenn dagegen der Kolben in Folge der Einwirkung des Triebs D auf die Zahnstange BB in die Höhe geht, so sucht er unter sich einen luftleeren Raum zu erzeugen. Der Druck unter ihm wird also verringert, und das Oel welches über ihm steht, und dem Druck der atmosphärischen Luft, der frei auf ihm lastet ausgesetzt ist, beugt den Lederstreifen *aa* herab und gelangt, indem es ringsum über den Kolben herabfliesst, in den unteren Theil des Behälters.

Der Knopf gegenüber dem Schlüssel des Triebes D ist dazu bestimmt, die Zahnstange EE zu bewegen und dadurch den Docht im Innern des Brenners F zu heben oder zu senken.

§. 387. **Die hydraulische Presse.** — Das Princip, auf welchem die hydraulische Presse beruht, haben wir schon oben (§. 235) kennen gelernt. Wir wollen uns hier nun damit beschäftigen, die Einrichtung dieser Maschine näher zu beschreiben. Die Fig. 489 zeigt die ganze Maschine in der Art, wie sie zusammengestellt ist; die Fig. 490 ist ein Durchschnitt, dazu bestimmt, die inneren Theile sichtbar zu machen. Ein sehr starker Cylinder A umschliesst den Kolben B, auf welchen durch Vermittlung des Wassers ein grosser Druck ausgeübt werden soll. Dieser Kolben B trägt oben eine Platte C, die mit ihm beweglich ist. Zwischen dieser und der festen Platte D, die mit dem Cylinder A durch starke Säulen E,E in Verbindung steht, kommt der zu pressende Körper zu liegen. Das Wasser wird in den Cylinder A mittelst einer Pumpe F geführt. Ein Hebel GH, der um den Punkt H beweglich ist, endigt sich in einen Handgriff G, an welchem er gefasst wird; er erhält eine hin- und hergehende Bewegung, indem man diesen Handgriff abwechselnd hebt und senkt. Diese Bewegung überträgt sich auf den Kolben I der Pumpe F, dessen Stange mit dem Hebel GH durch eine kleine Lenkstange verbunden ist. Die Bewegung des Kolbens wird durch einen feststehenden Ring K, durch welchen der obere Theil seiner Stange hindurchgeht, gerade geführt. Bei jedem Kolbenzug wird das Wasser aus einem unterhalb der Pumpe befindlichen Reservoir in die Röhre L gedrückt, die mit dem Cylinder A in Verbindung

steht. Bei M und N sind zwei Ventile, welche die Verbindung des Pumpenstiefels mit der Saugröhre und mit der Druckröhre L abwechselnd herstellen und unterbrechen.

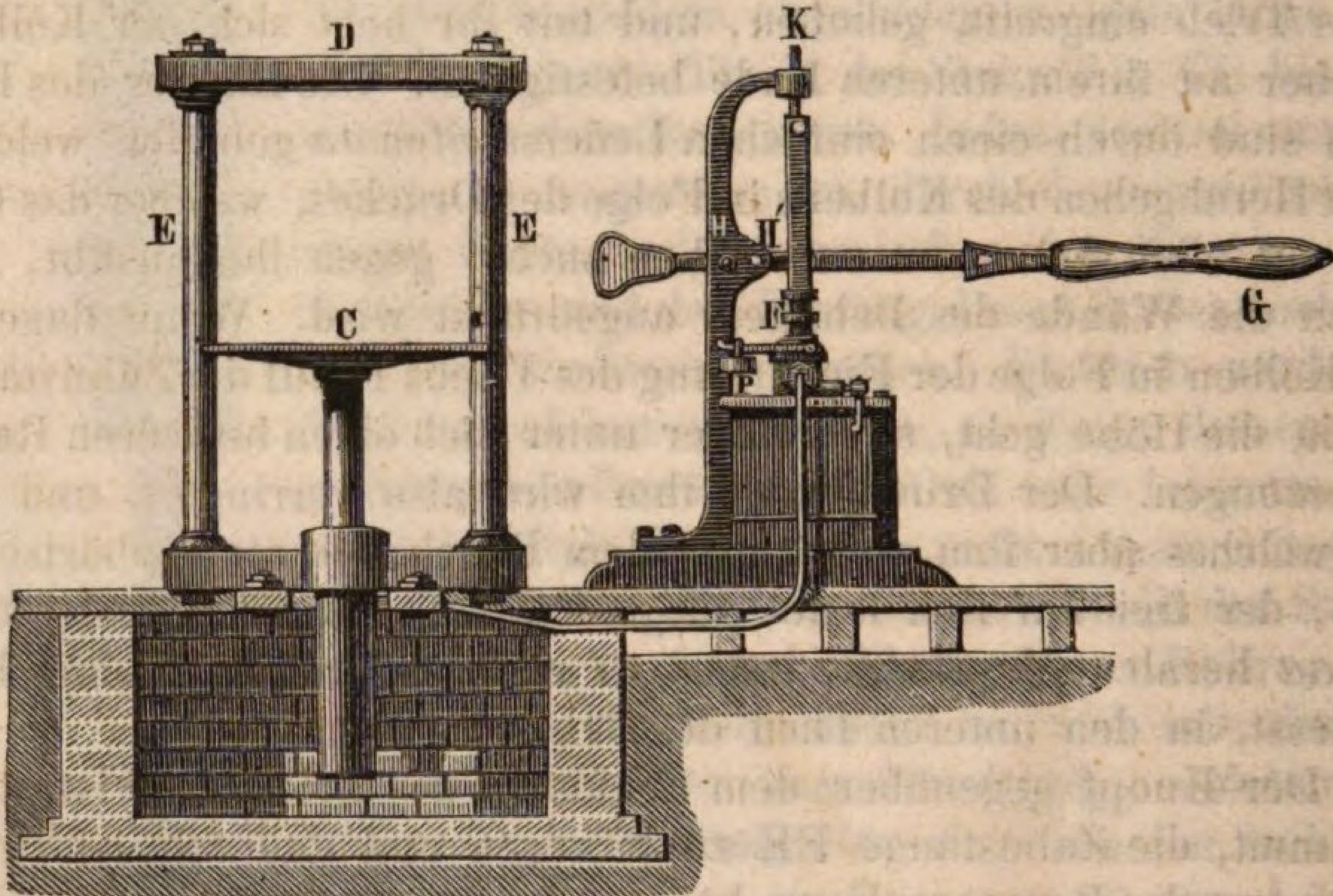


Fig. 489.

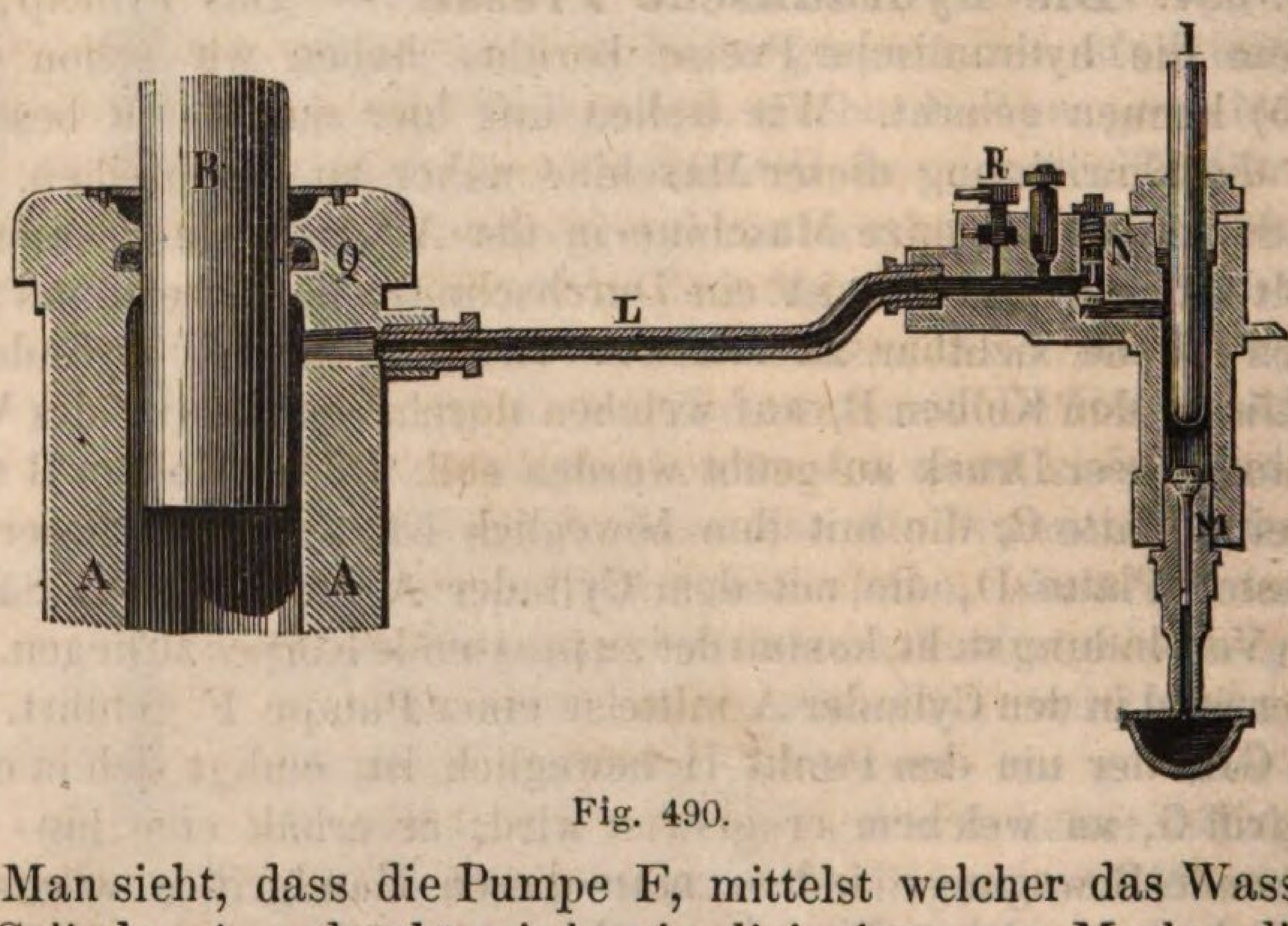


Fig. 490.

Man sieht, dass die Pumpe F, mittelst welcher das Wasser in den Cylinder A gedrückt wird, wie diejenigen von Marly, die wir oben (§. 377) beschrieben haben, eine Pumpe mit Taucherkolben ist. Der Cylinder A und der Kolben B haben eine ähnliche Einrichtung. Bei der Verwirklichung der Idee Pascals, der, wie wir gesagt haben, der Erfinder der hydraulischen Presse ist, war eine Schwierigkeit zu überwinden, die sich bei der Construction der Pumpen nicht in so hohem Grade geltend macht: es musste ein

Mittel gefunden werden, das Entweichen des Wassers zwischen dem Kolben B und den Theilen der Wände des Cylinders A, an denen er sich bei seiner aufsteigenden Bewegung reibt, vollständig zu vermeiden. Wenn ein solches Entweichen des Wassers, wenn auch nur in sehr geringer Menge, möglich wäre, so würde bald die geringe Quantität des Wassers, welches bei jedem Zug des Kolbens I in den Cylinder A geführt wird, den Austritt einer gleichen Menge des schon in diesem Cylinder enthaltenen Wassers zur Folge haben, und der auf den Kolben B fortgepflanzte Druck würde eine ziemlich niedere Grenze nicht überschreiten können. Der Druck auf die Flächeneinheit unter den beiden Kolben B und I ist zwar in der Zeit, wo das Ventil N geöffnet ist und das Wasser durch den Kolben I in den Cylinder A gedrückt wird, von gleicher Grösse, aber ein Entweichen des Wassers um den letzten Kolben herum hat nicht die Folgen als das, welches bei dem Kolben B stattfindet. Wenn der Kolben I nur etwas rasch bewegt wird, so hat nicht alles Wasser, gegen welches er drückt, Zeit, durch die Zwischenräume, welche wir längs seiner Oberfläche voraussetzen, zu entweichen; und ein Theil dieses Wassers muss also immer auf die andere Seite des Ventils N treten. Es kommt also namentlich bei dem Kolben B darauf an, alle Zwischenräume zwischen ihm und den Theilen der Cylinderwand, an denen er sich reibt, mit grösster Sorgfalt zu vermeiden; nur dann kann der auf diesen Kolben ausgeübte Druck eine bedeutende Grösse erreichen und dieselbe auch noch behalten, wenn nicht mehr auf den Kolben I gewirkt wird.

Der englische Ingenieur Bramah war der erste, dem es (im Jahre 1796) gelungen ist, die eben angegebenen Bedingungen zu erfüllen und eine wirkliche anwendbare Maschine nach dem Prinzipe Pascals zu construiren. Seit dieser Zeit spielt die hydraulische Presse, die desshalb auch oft Bramahpresse genannt wird, eine sehr wichtige Rolle in der Industrie. Das von Bramah erdachte Mittel, das Entweichen des Wassers rings um den Kolben B zu verhindern, besteht darin, dass er um diesen Kolben eine eigenthümliche Art von Lederliderung gelegt hat. Diese wird von einer Art von Kranz oder Wulst gebildet, den man auf folgende Weise erhält: Man schneidet ein Stück Leder in Form einer kreisrunden Scheibe zu; inmitten dieser Scheibe bringt man eine ebenfalls kreisrunde Oeffnung an, sodass nichts als ein ebener Ring übrig bleibt; nachdem man endlich das Leder durch längeres Liegenlassen in einer Flüssigkeit erweicht hat, formt man diesen Ring so, dass man seine inneren sowohl, wie seine äusseren Ränder unter seine Ebene herabbiegt, sodass er die in Fig. 491 dargestellte Gestalt erhält.

Das so zubereitete Lederstück bringt man oben an den Cylinder A in einer kreisrunden Höhlung desselben an, bevor der Kolben B in diesem Cylinder sich befindet.

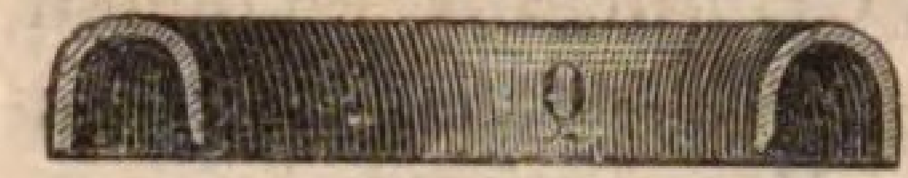


Fig. 491.

Wenn hierauf auf das Wasser in dem Cylinder A gedrückt wird, so dringt es in die ringförmige Höhlung, welche die Lederrinne bildet, und der Druck, welchen es ausübt, presst die inneren Ränder dieser Rinne gegen die Oberfläche des Kolbens an und zwar um so stärker, je grösser der Druck des Wassers ist, sodass ein Entweichen des Wassers in dem Maasse, als sich der Druck vergrössert, immer weniger möglich wird.

Wenn man den zu pressenden Körper zwischen die beiden Platten C und D (Fig. 489) gebracht hat, und man wirkt auf den Hebel GH, so hat man anfangs nur einen geringen Druck auf das Wasser auszuüben. Dieser Druck vermehrt sich in dem Maasse, als der Körper zusammengedrückt wird, und man muss daher immer mehr und mehr Kraft aufbieten, um die Pumpe F zu bewegen. Wenn der grösste Druck, welchen man auf diese Weise, indem man auf das Ende des Hebels GH wirkt, auf das Wasser ausüben kann, nicht ausreicht, um den gewünschten Zweck hervorzubringen, so zieht man den Zapfen H, der als Stützpunkt des Hebels dient, heraus und steckt ihn bei H' ein. Auf diese Weise vermindert man den Hebelarm, auf welchen der Widerstand, den der Kolben I erfährt, wirkt, um die Hälfte; man kann folglich mit derselben Kraft, die an dem Handgriff G angreift, einen grösseren Druck auf die Flüssigkeit im Innern ausüben.

Um zu verhindern, dass der auf die Flüssigkeit übertragene Druck zu gross wird, wodurch eine Beschädigung gewisser Theile der Maschine hervorgerufen werden könnte, bringt man nahe der Pumpe F ein Sicherheitsventil an, das in Figur 492 besonders abgebildet ist. Ein Kegelventil O verschliesst einen Kanal, durch welchen sich das im Innern der Presse enthaltene Wasser nach aussen ergiessen könnte. Dieses Ventil hat von oben her einen Druck zu erleiden, welcher durch einen Hebel, der an seinem einen Ende durch ein Gewicht P belastet ist, hervorgebracht wird.

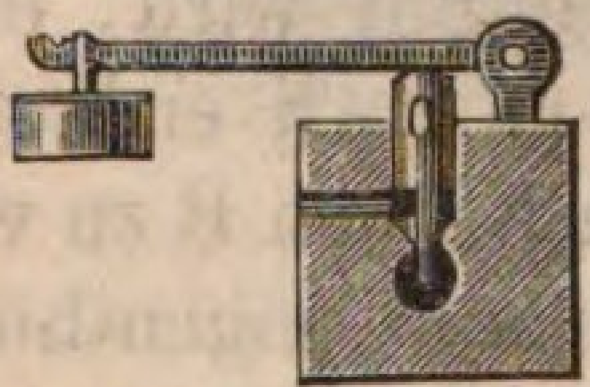


Fig. 492.

Die Grösse dieses Gewichtes wird vorher in der Art bestimmt, dass das Ventil O dem Drucke der Flüssigkeit nicht eher nachgibt, als bis dieser Druck eine gewisse Grenze, die er nicht überschreiten soll, erreicht hat.

Die Schraube R (Fig. 490), deren unteres Ende ein Ventil bildet, verschliesst für gewöhnlich einen anderen Kanal, durch welchen, wenn er offen wäre, die Flüssigkeit in der Presse gleichfalls aus-

fliessen könnte. Man bedient sich dieser Schraube, wenn man die Wirkung der Presse beendigen will. Indem man sie im passenden Sinne dreht, öffnet man den Kanal, welchen sie verschliesst; das in der Presse enthaltene Wasser ergiesst sich theilweise nach aussen, und der Kolben B, welcher nun nicht mehr dem Drucke der Flüssigkeit ausgesetzt ist, bewegt sich abwärts, in das Innere des Cylinders A hinein.

Man könnte sich fragen, ob die verschiedenen Formen, welche dem unteren Theil des Kolbens B gegeben werden können, keinen Einfluss auf den Gesammtdruck haben, mit welchem er zu heben gesucht wird. Ist bei demselben Druck, welchen man mit Hülfe des Kolbens I auf die Flüssigkeit ausübt, die Wirkung auf den Kolben B nicht grösser, wenn man ihn unten in eine concave Fläche endigen lässt, als wenn er in eine Spitze ausläuft? Wenn man die Gesetze bezüglich der Drückungen, welche eine Flüssigkeit auf die Wände, mit denen sie in Berührung ist, ausübt (§§. 238—243), wohl verstanden hat, so wird man keinen Augenblick im Zweifel sein, dass der Gesammtdruck, welcher den Kolben B zu heben sucht, keineswegs von der Form des Theils dieses Kolbens, der in die Flüssigkeit eintaucht, abhängt; derselbe wird lediglich durch die Grösse des Querschnitts des Kolbens durch den Theil desselben, der mit dem inneren Rand der oben beschriebenen Lederrinne in Berührung steht, bestimmt. Wenn dieser Querschnitt 10-, 100-, 1000mal so gross ist als der in ähnlicher Weise erhaltene des Kolbens I, so wird der Druck auf den Kolben B 10-, 100-, 1000mal so gross sein als derjenige, welchen man auf dem Kolben I mittelst des Hebels GH ausübt (§. 235). Man muss hier nicht vergessen, dass unter diesem Gesichtspunkt ein grosser Unterschied zwischen den Gesetzen des Druckes, welchen ein fester Körper von Seiten einer in Ruhe befindlichen Flüssigkeit und seitens einer Flüssigkeit in Bewegung erfährt. In letzterem Fall können die Drückungen für Körper von dem nämlichen Querschnitt, welchen ein und dieselbe Flüssigkeit mit der nämlichen Geschwindigkeit begegnet, sehr verschieden sein, wenn die Oberflächen, gegen welche die Flüssigkeit anstösst, nicht dieselbe Form haben.

§. 388. Die hydraulische Presse wird in der Industrie vielfach angewendet. Man bedient sich ihrer zur Pressung des Tuchs und Papiers, bei der Fabrikation der Wachskerzen, der Nudeln u. s. w. Ueberall, wo man einen sehr starken Druck auszuüben hat, nimmt man gewöhnlich seine Zuflucht zu den hydraulischen Pressen, deren Gebrauch sehr einfach und bequem ist. So prüft man in Frankreich die eisernen Ketten und Taue, welche für die Marine bestimmt

sind, indem man sie einer Zugkraft unterwirft, die durch eine hydraulische Presse hervorgebracht wird.

Wir haben oben gesagt, dass die Räder der Eisenbahnwägen an den Enden ihrer Achsen fest gemacht sind, sodass jede Achse mit den beiden Rädern an ihren Enden ein einziges festes Stück bildet. Die Achse und jedes der beiden Räder werden indessen jedes besonders gemacht, und erst nachdem diese drei Stücke fertig sind, werden sie vereinigt. Zu diesem Zwecke dreht man die Enden der Achse so ab, dass sie eine leicht conische Form erhalten, und bringt in den Naben der Räder Oeffnungen von genau ähnlicher Form an, die dazu bestimmt sind, die Enden der Achse aufzunehmen. Aber diese Stücke sind so gearbeitet, dass man die Enden der Achsen in die Oeffnungen der Räder nur unter Anwendung einer sehr bedeutenden Kraft eintreiben kann. Hier ist es wieder die hydraulische Presse, zu der man gewöhnlich seine Zuflucht nimmt, um diese Kraft auszuüben.

In neuerer Zeit hat man in England eine Röhrenbrücke gebaut, welche die Meerenge zwischen der Grafschaft Carnarvon und der Insel Anglesey überschreitet. Diese Brücke, welche eine Gesammtlänge von 455 Meter hat, wird von zwei ungeheuren Blechröhren gebildet, die nebeneinander angebracht sind, und in deren Innern die beiden Geleise der Eisenbahn von Chester nach Holyhead laufen; sie wird zwischen ihren Endpunkten nur von drei Pfeilern getragen, die sie in vier Theile theilen, deren beide mittelste, als die grössten, jeder 140 Meter Spannweite hat. Die diesen beiden mittleren Trägern entsprechenden Stücke der Röhre wurden einzeln am Ufer des Meeres gefertigt; man schaffte sie dann auf Kähnen zwischen die entsprechenden Pfeiler und hob diese kolossalen Röhren, wiederum durch Anwendung hydraulischer Pressen, auf ihre Pfeiler empor. Ueberhaupt hat die Verwendung der hydraulischen Presse als Krahn in neuerer Zeit in England grosse Verbreitung gefunden.

Anwendung des Wassers als Motor.

§. 389. **Herstellung eines Wassergefälls.** — Als wir oben (§. 216) die verschiedenen Arten der Motoren aufzählten, bezeichneten wir das fliessende Wasser als einen Motor von grösster Wichtigkeit. Wir sind nun im Stande, die Art der Wirkung dieses Motors, sowie die Einrichtung der verschiedenen Kraftmaschinen (§. 217), welche diese Wirkung aufnehmen, um sie auf andere

Mechanismen der verschiedensten Art, die eine gewisse nützliche Arbeit verrichten sollen, zu übertragen, näher kennen zu lernen.

Die Bewegung des fliessenden Wassers entspringt aus der Wirkung der Schwere. Indem irgend ein Molekül der Flüssigkeit ein Stück seines Weges durchläuft, senkt es sich um eine gewisse Höhe vertikal herab; durch diese Senkung wird eine gewisse Menge Bewegungsarbeit hervorgebracht, welche man erhält, wenn man das Gewicht des Moleküls mit dem Höhenunterschied der beiden Endpunkte seines Weges, den es durchlaufen hat, multiplicirt (§. 85). Diese Arbeit, welche durch die Wirkung der Schwere auf die verschiedenen Flüssigkeitsmoleküle hervorgebracht wird, ist es, die nutzbar gemacht werden soll, anstatt sie von der Widerstandsarbeit, welche durch die Reibung des Wassers an sich selbst und an den festen Wänden, zwischen denen es fliesst (§. 328), hervorgerufen wird, verzehren zu lassen.

Um diess zu erreichen, baut man quer durch das Bette des fliessenden Wassers einen Damm oder ein Wehr. Dieses Wehr stellt sich der Bewegung des Wassers, das fortwährend an der Stelle, wo es angelegt ist, ankommt, entgegen; daraus folgt, dass sich der Wasserspiegel oberhalb des Wehres erheben, unterhalb desselben dagegen senken muss. Denken wir uns nun dass sich das Wehr oben in einen horizontalen Rücken endige, und dass das Wasser, nachdem es sich in dem Bette oberhalb des Wehres angesammelt, über dieses Wehr herab in das unter demselben gelegene Bett sich ergiesse, so entsteht dadurch ein sogenannter Ueberfall (§. 335). Die Bewegung des Wassers muss dabei offenbar so stattfinden, dass die in einer gegebenen Zeit über den Ueberfall fliessende Wassermenge genau gleich ist derjenigen, welche in derselben Zeit durch irgend einen Querschnitt des Bettes floss, bevor das Wehr angelegt war. Diese Wassermenge fällt, indem sie sich auf diese Weise aus dem oberen Bett in das untere ergiesst, eine Höhe gleich dem Niveauunterschied der Flüssigkeit in diesen beiden Betten herab; wenn man daher diese Höhe durch das Gewicht des in einer bestimmten Zeit herabfliessenden Wassers multiplicirt, so erhält man das Maass der Bewegungsarbeit, welche durch das hergestellte Wassergefäll entwickelt wird, und welche durch Anwendung einer geeigneten Kraftmaschine nutzbar gemacht werden kann.

§. 390. **Totaleffekt einer Wasserkraft.** — Nach Dem, was wir oben gesagt haben, ist es leicht, die theoretische Leistungsfähigkeit oder den Totaleffekt (§. 218) eines Wassergefälls, das durch den Bau eines Wehres quer durch das fliessende Wasser, dessen Wassermenge bekannt ist (§§. 334—335), erhalten wird, zu berechnen

und in Pferdekräften auszudrücken. Man darf nur das in Kilogrammen gemessene Gewicht dieser Wassermenge mit dem in Metern ausgedrückten Unterschied des Wasserspiegels im oberen und unteren Bette, d. h. mit der Höhe des Gefälls oder dem Gefäll schlechtweg, multipliciren und hierauf die erhaltene Zahl durch 75 dividiren. Wenn folglich die Wassermenge eines Flusses 36 Cubikmeter beträgt, und es wird durch ein Wehr ein Gefälle von 1,5 Meter hervorgebracht, so ist der Totaleffekt der gewonnenen Wasserkraft gleich $\frac{36000 \times 1,5}{75} = 720$ Pferdekräfte.

Die Faktoren, von welchen die Leistung eines Wassergefälls abhängt, ändern sich mit den verschiedenen Jahreszeiten. Einerseits ist die Wassermenge des fliessenden Wassers bald grösser bald kleiner; andererseits vermindert sich der Niveauunterschied in dem oberen und unteren Bette, die Gefällshöhe, in dem Maasse, als die Wassermenge zunimmt. Aber obgleich sich diese beiden Faktoren im entgegengesetzten Sinne ändern, so ändert sich die Leistung des Gefälles doch stets in gleichem Sinne; diese Leistung wird um so grösser, je grösser die Wassermenge des fliessenden Wassers wird.

Wir haben bisher vorausgesetzt, dass das fliessende Wasser, wie es fast immer geschieht, durch ein Wehr aufgestaut wird und durch das Herabfallen von dem dadurch erzeugten Gefälle seine Bewegungsarbeit leistet. Aber auch ohne dieses ist das fliessende Wasser im Stande, allein durch die Geschwindigkeit, welche es besitzt, eine bestimmte Arbeit zu liefern. Diese Arbeit ist nach §. 107 gleich der lebendigen Potenz des Wassers. Man erhält daher den Totaleffekt eines nicht aufgestauten fliessenden Wassers, wenn man die Masse der Quantität Wasser, welche in einer Secunde durch einen Querschnitt des Bettes fliesst, mit dem halben Quadrat seiner Geschwindigkeit multiplicirt. Wenn man in diesen Ausdruck die Höhe einsetzt, welche das Wasser herabfallen müsste, um die Geschwindigkeit, die es besitzt, zu erhalten, welche Höhe wir kurz Geschwindigkeitshöhe genannt haben, so kann man auch sagen dass die Totalleistung eines fliessenden Wassers gleich dem Gewichte der Wassermenge ist, die in einer Secunde durch den Querschnitt des Bettes fliesst, multiplicirt mit seiner Geschwindigkeitshöhe. — Es ist leicht zu sehen, dass diese Bestimmung ganz mit der bei einem künstlich hervorgebrachten Gefälle gegebenen übereinstimmt, wenn man zumal bedenkt, dass in letzterem Falle die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser an dem Wehr ankommt, vernachlässigt werden kann.

§. 391. **Bedingungen, welche die hydraulischen Motoren zu erfüllen haben.** — Das Wasser eines Gefälles wirkt selten unmittelbar, um eine gewisse Nutzarbeit hervorzubringen; wir werden jedoch später einige Beispiele kennen lernen, wo diess wirklich der Fall ist. Gewöhnlich wirkt das Wasser auf eine Maschine, welche keinen anderen Zweck hat, als seine Wirkung aufzunehmen, um sie hierauf auf andere, sogenannte Arbeitsmaschinen zu übertragen. Man muss sich natürlich bestreben, diese Kraftmaschinen so zu construiren, dass das Wassergefäll seine gesammte Bewegungsarbeit, welche es hervorbringt, indem das Wasser von dem oberen in das untere Bett herabfällt, auf sie überträgt. Es ist unmöglich diese Bedingung vollständig zu befriedigen; aber man muss suchen, sich diesem Ziele so sehr als möglich zu nähern.

Um eine klare Anschauung über die Kraft eines Wassergefälles zu geben, haben wir vorausgesetzt, dass man quer durch das fliessende Wasser ein Wehr gebaut habe, und dass das Wasser aus dem oberen in das untere Bette frei über den Rücken des Wehrs herabfliesse; die dadurch hervorgebrachte Arbeit muss auf eine Kraftmaschine übertragen werden. Aber es ist nicht nothwendig, dass das Wasser das obere Bette gerade in der Höhe der freien Oberfläche der Flüssigkeit, welche darin enthalten ist, verlässt; man kann auch eine, durch eine Schütze zu verschliessende Oeffnung in dem Wehre anbringen, und zwar entweder ganz unten oder in irgend einem Punkte zwischen den Wasserspiegeln der beiden Bette; die Menge der Arbeit, welche das Wasser hervorzubringen im Stande ist, indem es sich so von einem Bette in das andere ergiesst, ist immer dieselbe, als wenn es von einem Niveau in das andere frei herabfiele. Man überzeugt sich davon leicht, indem man z. B. den Fall untersucht, wo der Ausfluss des Wassers durch eine Schützenöffnung stattfindet, die in der Höhe des unteren Wasserspiegels gelegen ist. Die Ausflussgeschwindigkeit des Wassers aus dieser Oeffnung ist die nämliche als diejenige, welche es gewinnen würde, wenn es die ganze Gefällhöhe frei herabfiele (§. 299). Wenn man folglich das Wasser, nachdem es seine ganze Geschwindigkeit, welche ihm die Schwere in Folge der Höhe des Gefälles ertheilen kann, erhalten hat, auf eine Kraftmaschine wirken lässt, so ist es gleichgültig, ob man es auf die eine oder andere der beiden hervorgehobenen Arten im unteren Bette ankommen lässt, weil es in beiden Fällen die nämliche Geschwindigkeit erhält.

Man kann dagegen allerdings einwenden, dass man in dem Fall, wo das Wasser aus dem oberen in das untere Bette durch die Oeffnung einer Schütze fliesst, dieser Oeffnung eine solche Grösse

geben könne, dass die in einer gegebenen Zeit ausfliessende Wassermenge grösser ist als die, welche in derselben Zeit über den Rücken des Wehrs herabfallen würde, und dass folglich, da die Geschwindigkeit der Flüssigkeit immer gleich der ist, welche der Gefällshöhe entspricht, die Menge der Arbeit, welche während der Zeit, um die es sich handelt, geleistet wird, durch Anwendung einer Schütze vergrössert werden könne. Diese Vermehrung der Arbeit ist ausser Zweifel; aber man muss bedenken, dass die Schütze, indem sie eine grössere Wassermenge liefert, als das fliessende Wasser gibt, eine Senkung des Niveaus im oberen Bette veranlasst; dieses Bette entleert sich und man wird folglich nach kürzerer oder längerer Zeit genöthigt, die Schütze zu schliessen und zu warten, bis es sich von Neuem gefüllt hat. Wenn man folglich die Wirkung eines Gefälles regelmässig und dauernd benützen will, so muss man dafür sorgen, dass z. B. am Anfang jedes Arbeitstages der Wasserspiegel im oberen Bett stets die nämliche Höhe habe; in welcher Weise man folglich auch das Wasser in dem Intervall von 24 Stunden benützt, d. h. welche Oeffnung man während dieser Zeit auch der Schütze gibt, so darf doch die ganze Wassermenge, welche während dieser Zeit durch die Schütze fliesst, die in derselben Zeit durch das fliessende Wasser gelieferte Wassermenge nicht überschreiten. Die Anwendung einer Schütze, welche das Wasser unten, am Fuss des Gefälls ausfliessen lässt, kann also keine Vermehrung der gesammten Arbeit, welche durch das Wasser innerhalb eines Tages geleistet wird, hervorbringen; aber die Schütze erlaubt, diese Arbeitsmenge anders zu vertheilen, als es der Fall sein würde, wenn das Wasser, wie wir anfangs vorausgesetzt hatten, frei über den Rücken des Wehrs herabfallen würde. Wenn man z. B. die Schütze statt 24 täglich nur 12 Stunden geöffnet hält, so kann die in einer Stunde zu leistende Arbeit auf's Doppelte erhöht werden; ein Gefäll, dessen Leistung durch 15 Pferdekräfte ausgedrückt wird (§. 390), kann folglich während dieser 12 Stunden mit 30 Pferdekräften wirken.

Aus dem Vorhergehenden folgt, dass die Menge der Arbeit, welche das Wasser zu leisten vermag, immer die nämliche ist, auf welche Art man es auch aus dem oberen in das untere Bett übergehen lässt. Dabei ist aber natürlich vorausgesetzt, dass die Umstände, unter denen dieser Ausfluss stattfindet, keinerlei Geschwindigkeitsverluste hervorbringen; denn ein solcher Verlust würde nothwendig einen entsprechenden in der Menge von Arbeit nach sich ziehen, welche diese Geschwindigkeit hervorbringen muss, indem sie auf die Kraftmaschine wirkt. Die Oeffnung, durch welche das

Wasser ausfliesst, muss also so angebracht werden, dass plötzliche Aenderungen in der Richtung der Flüssigkeitsfäden vermieden sind, d. h. man muss nur abgerundete Oeffnungen anwenden (§. 306); ausserdem muss man es vermeiden, dass das Wasser mit grosser Geschwindigkeit in einem Kanal von gewisser Länge fliesst, damit daraus nicht Geschwindigkeitsverluste, veranlasst durch die Reibung der Flüssigkeit an sich selbst und an den Wänden, entstehen können.

Wenn wir jetzt die Kraftmaschinen, auf welche das Wasser die durch das Gefäll entwickelte Arbeit übertragen soll, näher untersuchen, so werden wir sehen, dass das Wasser in diesen Maschinen mit einer gewissen, grösseren oder geringeren Geschwindigkeit ankommt, und dass es sie wieder verlässt, um sich in das untere Bette zu ergiessen. Ohne eine Voraussetzung über die verschiedenen Einrichtungen, welche man einer solchen Maschine geben kann, und die wir sogleich ausführlich beschreiben werden, zu machen, können wir doch schon einsehen, dass sie im Allgemeinen zwei wesentliche Bedingungen erfüllen muss. Erstens muss das Wasser ohne Stoss wirken, d. h. es dürfen von dem Moment an, wo es im Begriff ist in die Maschine einzutreten, bis zu dem Moment, wo es dieselbe vollständig wieder verlassen hat, keinerlei plötzliche Wechsel weder in der Richtung noch in der Grösse der Geschwindigkeit der verschiedenen Flüssigkeitsmoleküle stattfinden. Zweitens muss das Wasser in solcher Weise aus der Maschine austreten, dass es nur eine sehr geringe, wo nicht ganz die Geschwindigkeit Null hat, wenn es in dem unteren Bette ankommt. Denn wenn es daselbst noch eine bemerkenswerthe Geschwindigkeit besässe, so würde es im Stande sein, in Folge dieser Geschwindigkeit noch eine gewisse Menge Arbeit zu leisten und hätte folglich nicht die ganze Arbeit, die es liefern konnte, an die Kraftmaschine übertragen.

Fassen wir nun das Vorhergehende zusammen, so ergibt sich, dass man bei der Anlegung eines hydraulischen Motors immer im Auge haben muss, die folgenden Bedingungen zu befriedigen: 1) das Wasser soll, indem es aus dem oberen Bette in die Maschine gelangt, einen möglichst geringen Geschwindigkeitsverlust erfahren; 2) es soll ohne Stoss wirken; 3) es soll ohne Geschwindigkeit im unteren Bette ankommen. Diese Bedingungen können niemals strenge erfüllt werden, und desshalb ist die Bewegungsarbeit, welche die Kraftmaschine aufnimmt, niemals so gross als der Totaleffect des Gefälles, welches sie bewegt; sie ist nur ein gewisser Bruchtheil desselben, der grösser oder kleiner ist, je nachdem die Art und Weise der Wirkung des Wassers sich mehr oder weniger dem

idealen Zustand nähert, der durch die obigen Bedingungen bezeichnet wird. Wenn es sich ferner um die Leistung handelt, welche die Kraftmaschine selbst zu geben im Stande ist, d. h. um den Nutzeffekt derselben (§. 217), so müssen noch die Arbeitsverluste, die von den passiven Widerständen, die in der Maschine selbst zu überwinden sind, herrühren, in Abzug gebracht werden. Das Verhältniss dieses Nutzeffekts zum Totaleffekt des Wassergefälls ist Das, was wir den Wirkungsgrad der Maschine genannt haben. Um die Güte eines hydraulischen Motors zu prüfen, wird man daher seinen Nutzeffekt durch den Versuch (§. 217) bestimmen und denselben mit dem Totaleffekt vergleichen, welchen das Wassergefälle liefert; je mehr sich das Verhältniss beider der Einheit nähert, desto vollkommener ist die Maschine. Wenn man also als Wirkungsgrad einer hydraulischen Kraftmaschine 0,60 findet, so heisst Das, dass sie 0,60 von dem Totaleffekt des Gefälls, oder 60 Procent desselben, nutzbar macht.

§. 392. **Unterschlächtiges Wasserrad mit ebenen Schaufeln.** — Gehen wir jetzt auf die verschiedenen Einrichtungen, die man den hydraulischen Motoren gegeben hat, näher ein. Am häufigsten sind diese Motoren Räder, denen das Wasser eine Rotationsbewegung um eine Axe ertheilt, welche entweder eine horizontale oder vertikale Lage hat; diese Räder heissen Wasserräder. Wir beschäftigen uns zunächst mit denjenigen, deren Axe horizontal liegt. Diese theilt man wieder in unterschlächtige, oberschlächtige und mittelschlächtige Räder, je nachdem das Wasser an dem unteren oder an dem oberen Theil, oder auch in irgend einem anderen Punkte des Umfangs des Rades ankommt.

Das unterschlächtige Wasserrad mit ebenen Schaufeln (Fig. 493) ist vor eine Schütze gestellt, die bis auf eine gewisse Höhe aufgezogen ist, um das Wasser unten ausfliessen zu lassen. Das Wasser tritt aus der Schützenöffnung mit der Geschwindigkeit hervor, welche der Höhe des Wasserspiegels im oberen Bett über dieser Oeffnung entspricht. Ein horizontales oder nur sehr wenig geneigtes Gerinne führt es unter das Rad, welchem es eine Rotationsbewegung ertheilt, indem es gegen die Schaufeln, mit denen das Rad ringsum an seinem ganzen Umfang versehen ist, in Folge seiner Geschwindigkeit einen Druck ausübt. Auf diese Weise nimmt das Rad unter der Wirkung des Wassers eine bestimmte Geschwindigkeit an, welche von den Widerständen abhängt, die es zu überwinden hat; diese Geschwindigkeit ist um so kleiner, je bedeutender die zu überwindenden Widerstände sind. Man weiss in der That, dass der durch das Wasser auf die Schaufeln des Rades ausgeübte Druck nicht der

nämliche ist, wenn diese Schaufeln in Bewegung sind, als wenn sie still stehen, und dass ferner dieser Druck um so schwächer

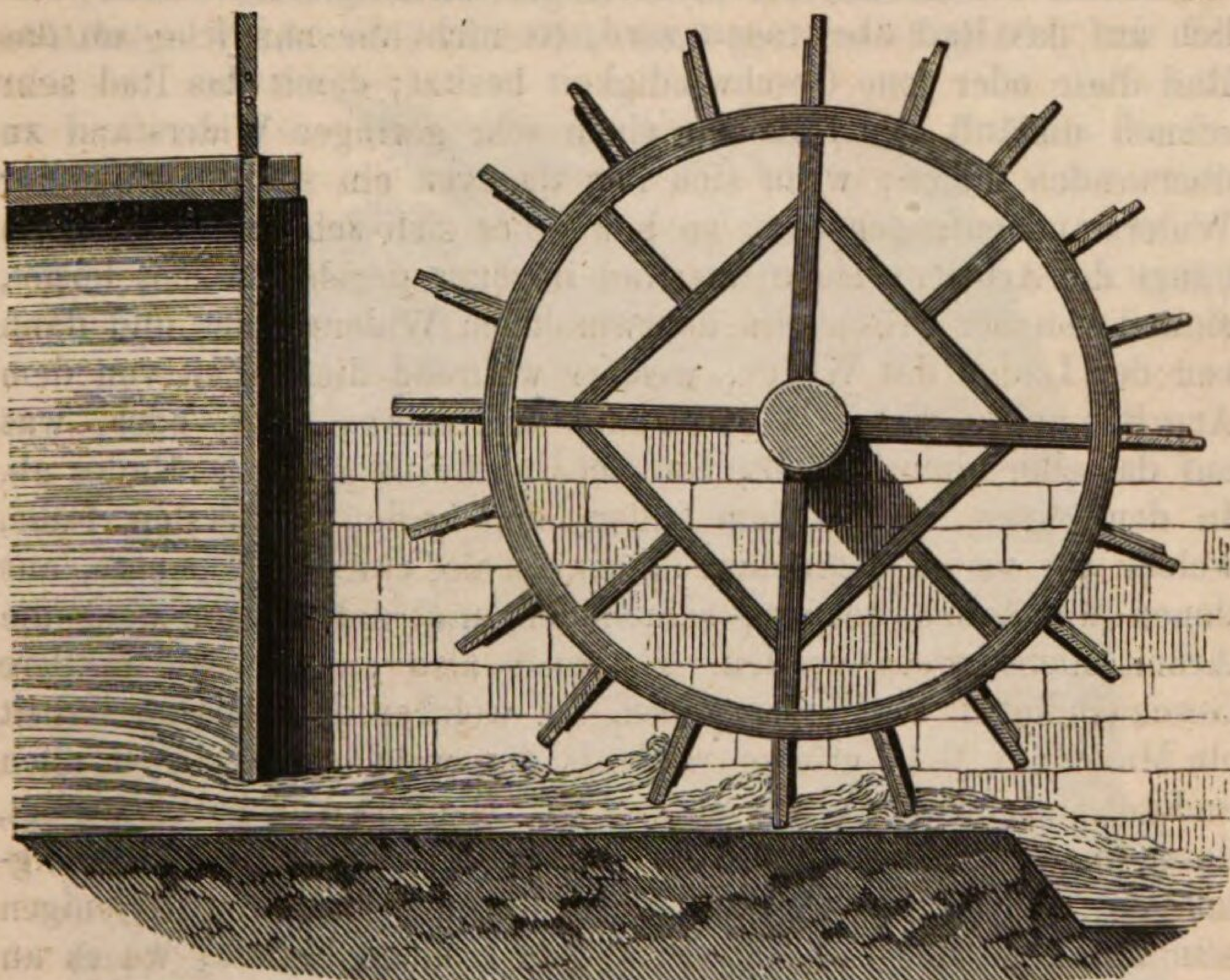


Fig. 493.

wird, je schneller sich die Schaufeln bewegen (§. 344). Es folgt daraus, dass das Rad, um einen gegebenen Widerstand zu überwinden, unter der Wirkung des Wassers eine solche Geschwindigkeit annehmen muss, für welche der Druck des Wassers auf die Schaufeln der Grösse dieser Widerstände entspricht. Wenn durch irgend eine Ursache diese Geschwindigkeit zufällig kleiner würde, so würde der Druck des Wassers gegen die Schaufeln zunehmen; es würde schon ein Theil dieses Druckes hinreichen, um den Widerständen das Gleichgewicht zu halten, der andere Theil würde die Bewegung des Rades so lange beschleunigen, bis das Gleichgewicht zwischen dem durch das Wasser ausgeübten Druck und dem zu überwindenden Widerstande wieder hergestellt wäre. Wenn im Gegentheil das Rad für den Augenblick eine schnellere Bewegung annehmen würde, so würden durch die daraus folgende Verminderung in dem Drucke des Wassers gegen die Schaufeln die Widerstände die Oberhand erhalten, und die Bewegung müsste sich wieder verzögern.

Aus dem Vorhergehenden folgt, dass man dem Rade eine be-

liebige Geschwindigkeit annehmen lassen kann, wenn man nur die Grösse des zu überwindenden Widerstandes passend regulirt. Aber die Grösse der Arbeit, welche durch die Wirkung des Wassers wirklich auf das Rad übertragen wird, ist nicht die nämliche, ob das Rad diese oder jene Geschwindigkeit besitzt; damit das Rad sehr schnell umläuft, darf es nur einen sehr geringen Widerstand zu überwinden haben; wenn sich ihm dagegen ein sehr bedeutender Widerstand entgegensetzt, so bewegt es sich sehr langsam. Nun hängt die Arbeit, welche das Rad in einer gegebenen Zeit leistet, einmal von der Grösse des überwundenen Widerstandes und dann von der Länge des Weges, welcher während dieser Zeit von dem Angriffspunkte dieses Widerstandes durchlaufen wird, oder, was auf dasselbe hinauskommt, von der Geschwindigkeit des Rades ab. In dem einen, wie in dem andern der beiden äussersten Fälle, welche wir vorhin betrachtet haben, ist das eine der Elemente, aus denen die Arbeit besteht, sehr klein, und daher kann auch die Arbeit nicht gross werden. Es muss also eine gewisse mittlere Geschwindigkeit des Rades geben, bei welcher die geleistete Arbeit ein Maximum, d. h. grösser wird als die, welche das Rad bei allen anderen Geschwindigkeiten entwickelt. Die Versuche haben gezeigt, dass, um dieses Maximum der Arbeit zu erhalten, die Geschwindigkeit des Rades, gemessen an seinem Umfang, 0,45 von derjenigen sein muss, welche das Wasser in dem Moment besitzt, wo es an den Schaufeln des Rades ankommt.

Die unterschlächtigen Räder mit ebenen Schaufeln sind weit davon entfernt, den Bedingungen zu genügen, welche wir im Allgemeinen für die hydraulischen Motoren aufgestellt haben (§. 391). Erstens verliert das Wasser in Folge der Reibung an den Wänden des Gerinnes, in welchem es von der Schütze auf die Schaufeln geführt wird, einen Theil seiner Geschwindigkeit, bevor es noch das Rad erreicht hat; zweitens muss sich die Geschwindigkeit des Wassers in dem Moment, wo es auf eine der Schaufeln des Rades trifft, plötzlich in die Geschwindigkeit des Rads verwandeln; drittens endlich verlässt das Wasser das Rad noch mit bedeutender Geschwindigkeit, durch welche das Sprudeln, das man in dem unteren Bette bis auf ziemlich grosse Entfernung vom Rad bemerken kann, hervorgebracht wird. Desshalb sind die Räder dieser Art schlechte hydraulische Motoren. Wenn man mittelst des Bremsdynamometers die Grösse der Arbeit misst, welche vom Wasser auf das Rad übertragen wird, so findet man, dass in dem Falle, wo die Geschwindigkeit des Rads die günstigste ist, diese Leistung nicht über 0,25 von derjenigen beträgt, welche der Gefällshöhe und der Wassermenge

entspricht: es wird also nur der vierte Theil der Wasserkraft nutzbar gemacht; die drei anderen Viertel sind gänzlich verloren.

§. 393. **Oberschlächtiges oder Zellenrad.** — Das oberschlächtige Wasserrad, auch Zellenrad genannt (Fig. 494), ist so

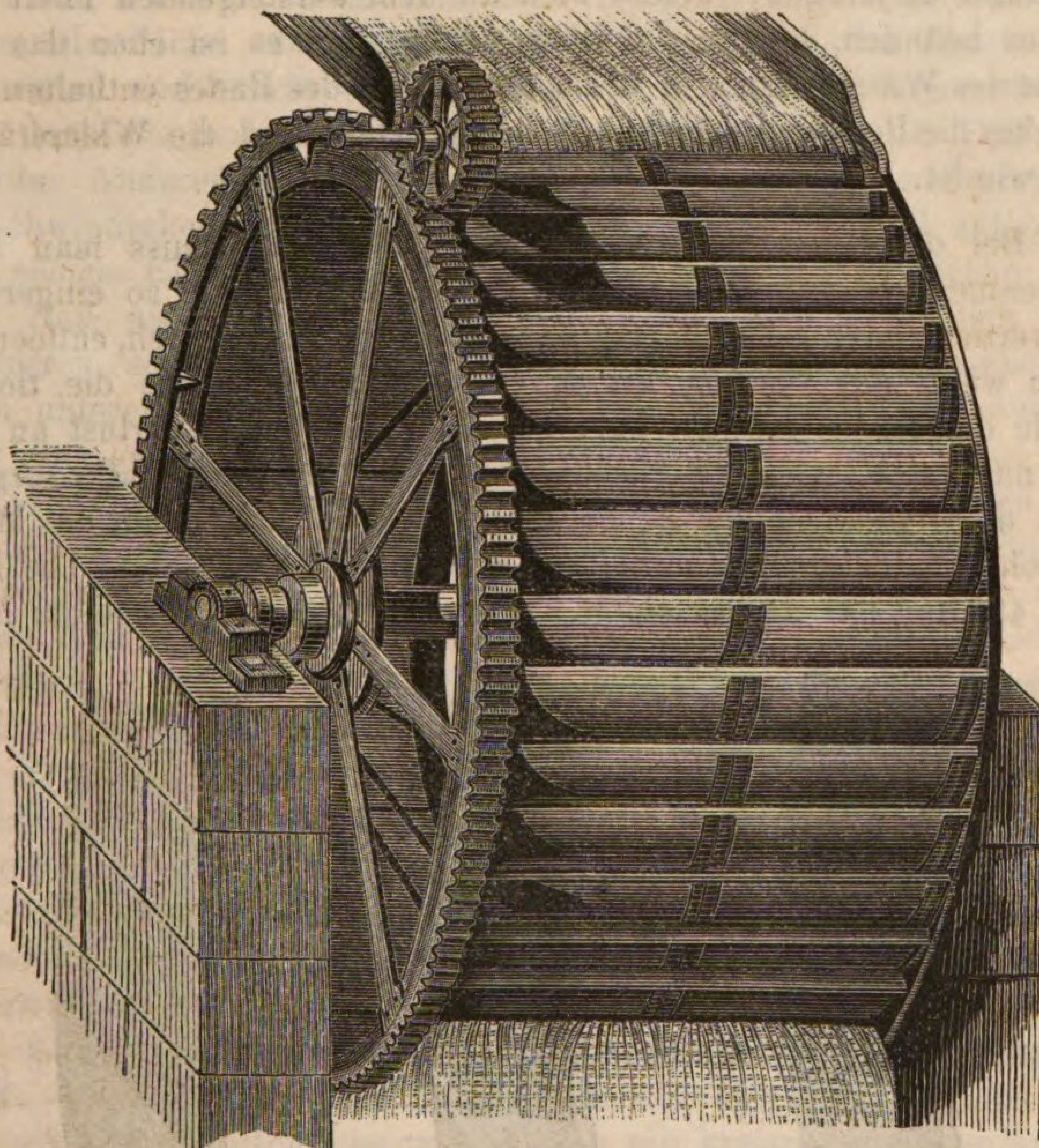


Fig. 494.

eingerichtet, dass es das Wasser in seinem obersten Theile aufnimmt. Dieses Wasser wird ihm durch einen Kanal zugeführt, welcher es dem oberen Bette, und zwar in der Höhe des Wasserspiegels in diesem Bette, entnimmt. Das Wasser nimmt in diesem Gerinne nur die Geschwindigkeit an, die nothwendig ist, damit es das Rad erreichen kann; es fällt hierauf in Zellen, mit denen das Rad auf seinem ganzen Umfange versehen ist, und füllt diese nach und nach in dem Maasse, als sie sich ihm, in Folge der Bewegung des Rades, am Ende des Zuleitungskanals darbieten. Wenn die Zellen an dem unteren Theil des Rades ankommen, so entleert sich das darin enthaltene Wasser in das untere Bett; sie steigen dann

auf der anderen Seite leer wieder in die Höhe, um sich an der Stelle, wo sie wieder abwärts zu gehen beginnen, von Neuem zu füllen. Man sieht daraus, dass die Zellen auf der einen, abwärts gehenden Seite des Rades fortwährend mit Wasser gefüllt sind, während diejenigen, welche sich an dem aufsteigenden Theil des Rades befinden, leer in die Höhe gehen; und es ist eben das Gewicht des Wassers, das in der einen Hälfte des Rades enthalten ist, welches die Bewegung desselben hervorbringt und die Widerstände überwindet.

Bei der Construction eines Rades dieser Art muss man sein Augenmerk besonders darauf richten, dass die Zellen so eingerichtet werden, dass sie sich erst so weit unten, als möglich, entleeren; denn wenn das Wasser aus ihnen austritt, bevor es die tiefste Stelle des Rades erreicht hat, so zieht diess einen Verlust an Gefäll nach sich. Aber zu gleicher Zeit muss man auch dafür sorgen, dass die Oeffnungen der Zellen nicht zu eng sind, damit das Wasser ohne Schwierigkeit ein- und wieder austreten kann. Die Fig. 495, 496 und 497 zeigen einige Formen der Zellen, welche am häu-


Fig. 495.


Fig. 496.


Fig. 497.

figsten angewandt werden. Damit die Luft sowohl dem Eintritte des Wassers in die Zellen, als dem Ausflusse aus diesen keinen Widerstand entgegensetzt, was für die hervorzubringende Leistung sehr nachtheilig werden könnte, bringt man an dem Boden jeder Zelle einige kleine Löcher an. Diese Löcher veranlassen wohl den Verlust einer gewissen Wassermenge, welche durch sie hindurch aus der Zelle fliesst, aber dieser Verlust ist nur von sehr geringem Belang.

Ein Zellenrad gibt viel bessere Resultate, wenn es sich langsamer dreht, und zwar aus mehreren Gründen. Zunächst bringt die Rotationsbewegung des Rades, an welcher das in den Zellen enthaltene Wasser Theil nimmt, eine Centrifugalkraft hervor, welche die Form der freien Oberfläche der Flüssigkeit in jeder Zelle ändert; diese Oberfläche senkt sich auf der Seite gegen das Innere des Rades zu und erhebt sich gegen aussen, sodass das Wasser früher aus der Zelle auszutreten sucht, als es ohne diess der Fall sein würde. Andererseits bringt das Wasser, da es nur mit geringer Geschwindigkeit durch den Zuleitungskanal an dem Rad ankommt bei seinem Eintritt in die Zellen keinen Stoss hervor, wenn sich das Rad nur langsam dreht; und wenn dann die Zellen sich entleeren, so wird das Wasser sozusagen ohne Geschwindigkeit in dem unteren Bette abgesetzt. Unter der Bedingung also, dass es nur eine geringe Rotationsgeschwindigkeit besitzt, sieht man, dass das Zellenrad viel besser als das unterschlächtige Rad den allgemeinen Bedingungen genügt, welche die hydraulischen Motoren befriedigen sollen. Desshalb haben gut gebaute Zellenräder auch einen Wirkungsgrad gleich 0,75. Diese Räder müssen für Gefälle zwischen 3 und 12 Metern Höhe allen anderen Rädern vorgezogen werden.

Da die Rotationsbewegung des Zellenrades nur langsam sein soll, so versieht man es gewöhnlich mit einem Zahnkranz, dessen Durchmesser gleich seinem eigenen ist, und in dessen Zähne ein viel kleineres Zahnrad eingreift. Man kann so auf die Welle dieses zweiten Rades eine Rotationsbewegung von beliebiger Schnelligkeit übertragen.

§. 394. **Mittel - oder Rückenschlächtiges Wasserrad.** — Das mittelschlächtige Wasserrad (Fig. 498) ist ein Rad mit ebenen Schaufeln, an welche sich ein kreisrundes oder Kropfgerinne dicht anschliesst. Das Rad empfängt das Wasser an dem obersten Theil dieses Gerinns und steht in Bezug auf die Art der Wirksamkeit des Wassers zwischen dem unterschlächtigen und dem Zellenrad. Das Wasser wirkt zunächst in dem Augenblick, wo es in das Rad eintritt, durch seinen Stoss; hierauf wird es aber durch das Gerinne, welches es verhindert auf der einen oder anderen Seite auszufliessen, über den Schaufeln gehalten und wirkt also durch sein Gewicht, bis es unten an dem Rade ankommt.

Indem man die Einrichtung des Rades ändert, kann man die eine oder andere dieser beiden Wirkungsarten des Wassers überwiegen machen, und es ist nach Dem, was wir in dem vorhergehenden Paragraphen gesagt haben, klar, dass man das mittel-

schlächtige Rad dem oberschlächtigen zu nähern suchen muss, da letzteres einen viel grösseren Theil der Bewegungsarbeit, welche

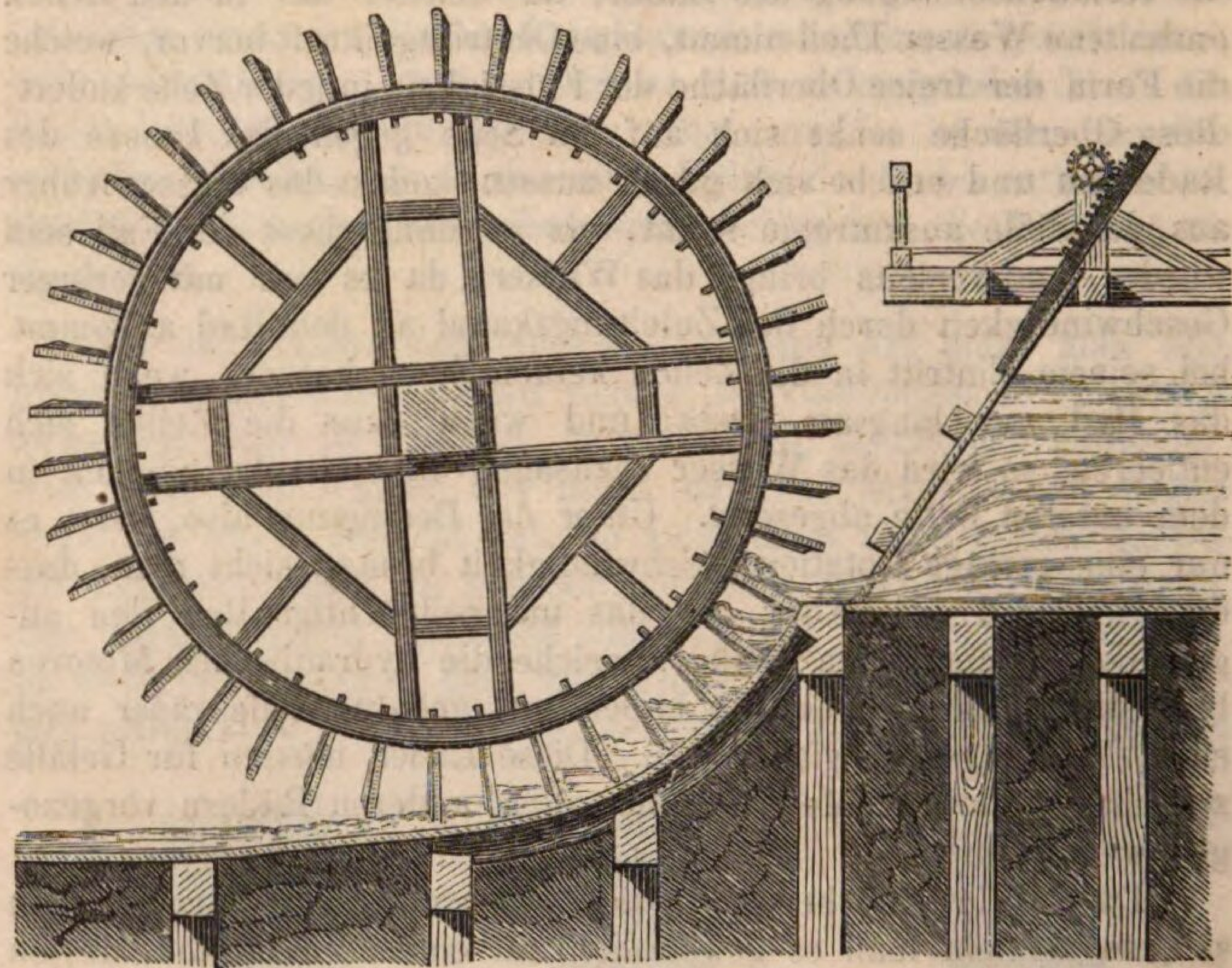


Fig. 498.

das Wasser entwickelt, nutzbar macht als das unterschlächtige Rad. Desshalb lässt man das Wasser, anstatt es durch eine Oeffnung am unteren Theil einer Schütze, die aufgezogen wird, an das Rad zu führen (Fig. 498), auch wohl über den obersten Theil einer Schütze, die niedergelassen werden kann, fliessen (Fig. 499) und so eine Art Ueberfall bilden. Das Wasser begegnet auf diese Weise den Schaufeln mit geringerer Geschwindigkeit und wirkt fast ausschliesslich durch sein Gewicht, um das Rad zu drehen.

Wenn man das mittelschlächtige Rad, so eingerichtet, wie wir es zuletzt beschrieben haben, mit dem Zellenrade vergleicht, so wird man sehen, dass es vor diesem letzteren gewisse Vortheile darbietet. Erstens hört das Wasser, welches zwischen den Schaufeln enthalten ist, nicht eher auf, durch sein Gewicht zu wirken, als bis es ganz unten an dem Rade angekommen ist, während es in dem Zellenrade die Zellen schon verlassen muss, ehe diese ganz unten ankommen. Zweitens hat das Rad nicht das ganze Gewicht des Wassers, welches auf es wirkt, zu tragen, da der Druck, welchen das über jeder Schaufel stehende Wasser auf diese Schaufel aus-

übt, nur die eine Componente des Gewichts dieses Wassers ist und die andere Componente von dem Gerinne getragen wird. Daraus

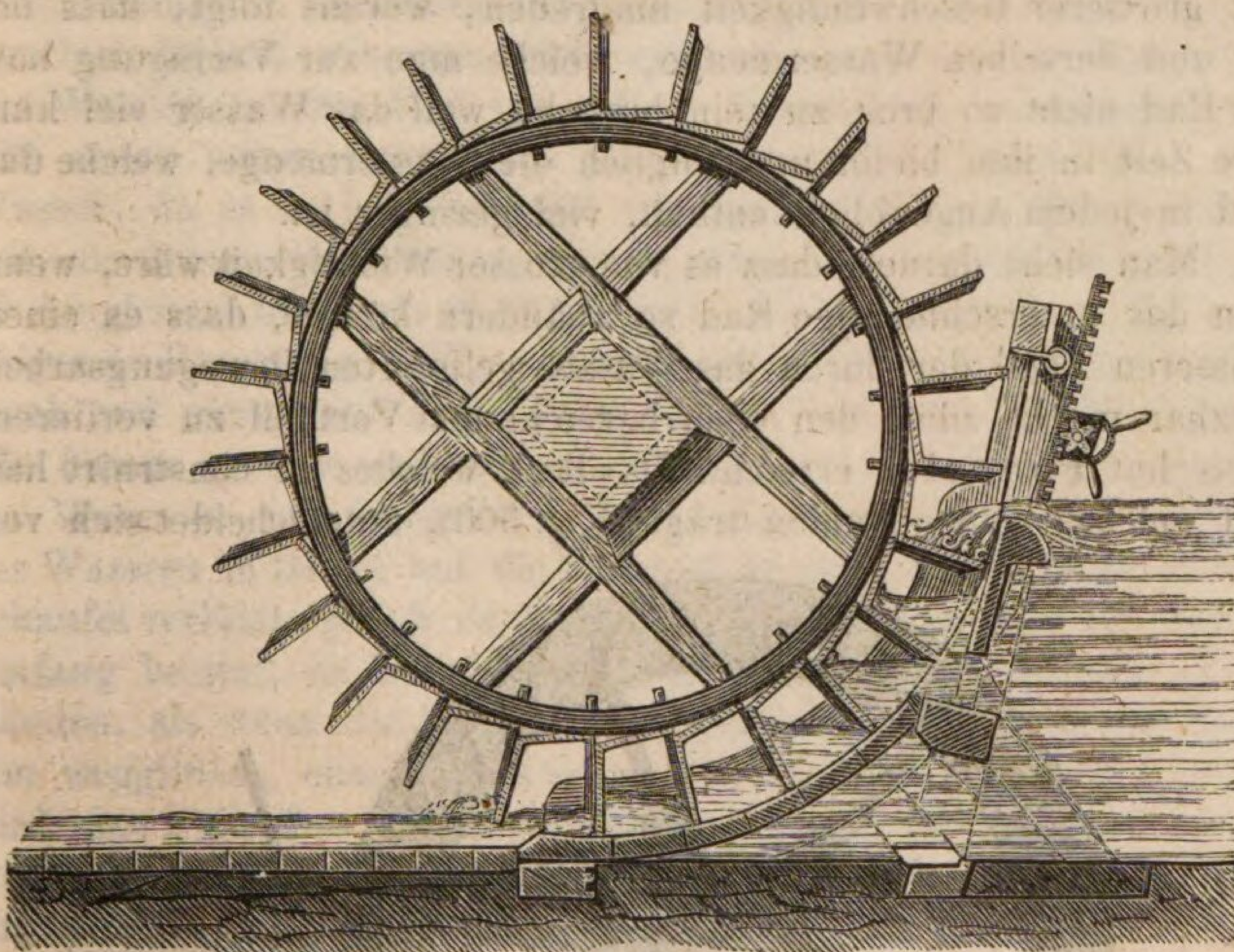


Fig. 499.

folgt, dass das Rad, obwohl es die nämliche Menge von Arbeit vom Wasser aufnimmt, viel weniger belastet wird, und dass daher die Reibung seiner Welle in den Lagern viel weniger bedeutend ist. Aber diese Vortheile werden wieder durch die Nachtheile aufgewogen, welche daraus entstehen, dass die Zwischenräume, welche nothwendig zwischen den Rändern der Schaufeln und dem Gerinne vorhanden sein müssen, einen Verlust an Wasser veranlassen, sowie dass das Wasser, indem es sich längs des Gerinnes hinbewegt, einen ziemlich bedeutenden Widerstand erfährt. Um den Verlust des Wassers, welches zwischen den Schaufeln und dem Gerinne durchfliesst, nicht zu gross werden zu lassen, ist man genöthigt, das mittelschlächtige Rad schneller umgehen zu lassen, als das Zellenrad; daraus folgt, dass das Wasser das Rad noch mit ansehnlicher Geschwindigkeit verlässt, was wiederum einen Verlust von Arbeit nach sich zieht. Alles zusammen genommen gibt das mittelschlächtige Rad, so angeordnet, wie es Fig. 499 zeigt, ein weniger gutes Resultat als das Zellenrad, aber es ist dem unterschlächtigen bei weitem vorzuziehen; sein Wirkungsgrad ist ungefähr gleich 0,65.

§. 395. **Ponceletrad.** — Die unterschlächtigen Räder haben vor den ober- und mittelschlächtigen den Vortheil, dass sie sich mit grösserer Geschwindigkeit umdrehen, woraus folgt, dass bei ein und derselben Wassermenge, welche man zur Verfügung hat, das Rad nicht so breit zu sein braucht, weil das Wasser viel kürzere Zeit in ihm bleibt und folglich die Wassermenge, welche das Rad in jedem Augenblick enthält, viel geringer ist.

Man sieht daraus, dass es von grosser Wichtigkeit wäre, wenn man das unterschlächtige Rad so abändern könnte, dass es einen grösseren Theil der durch das Wasser gelieferten Bewegungsarbeit nutzbar macht, ohne den eben bezeichneten Vortheil zu verlieren. Diess hat Poncelet erreicht. Das Rad, welches er construirt hat, und welches seinen Namen trägt (Fig. 500), unterscheidet sich von

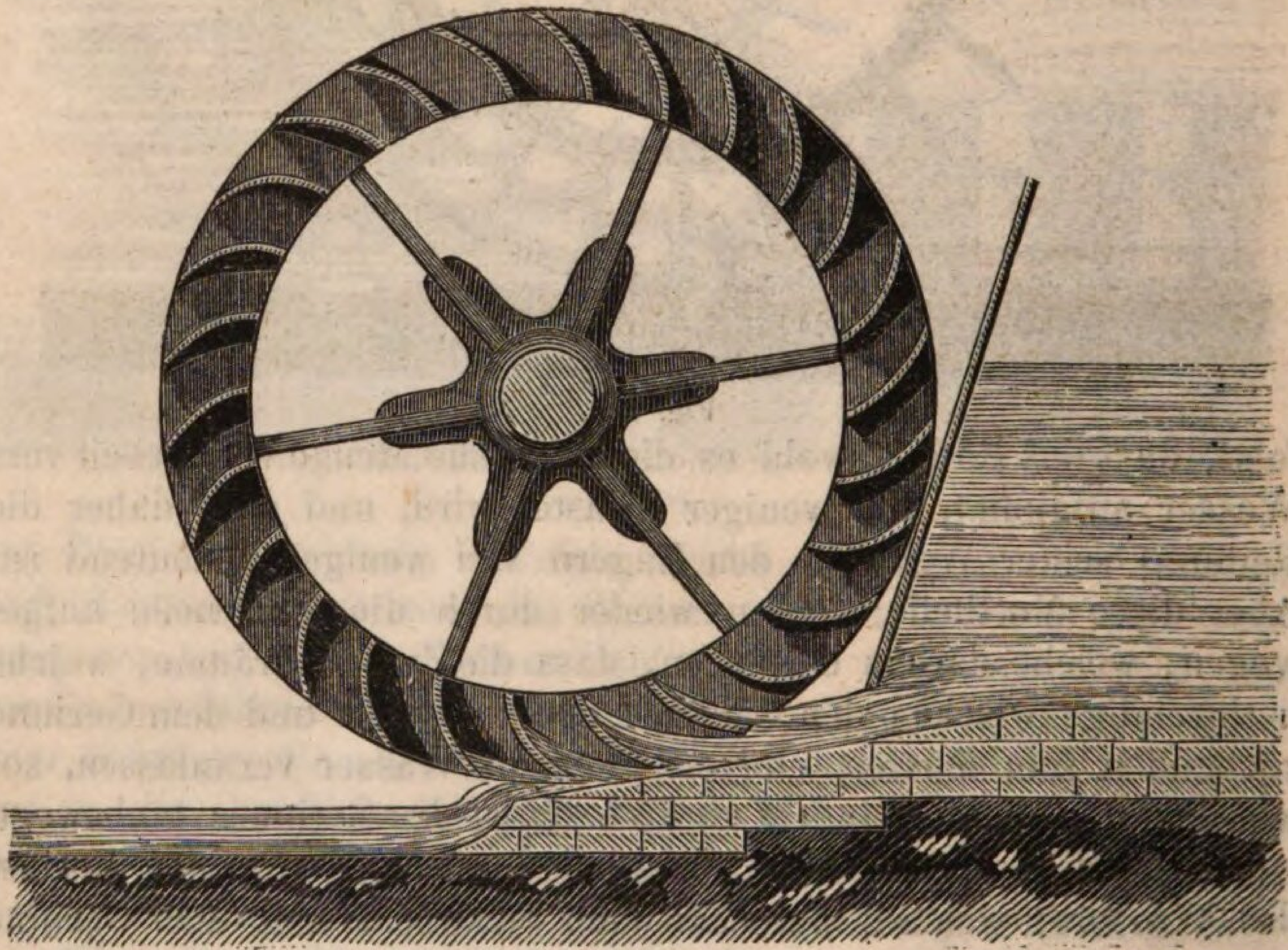


Fig. 500.

dem unterschlächtigen Rad, von dem wir oben (§. 392) gesprochen haben, nur dadurch, dass die ebenen Schaufeln desselben durch gekrümmte ersetzt sind, die nahezu Tangenten an den äusseren Umfang des Rades bilden.

Es ist leicht zu begreifen, dass in Folge dieser Einrichtung die Arbeit, welche vom Wasser auf das Rad übertragen wird, grösser ist als in dem Falle, wo die Schaufeln eben sind. Zunächst bringt das Wasser bei seinem Eintritt in das Rad keinen Stoss gegen die Schaufeln hervor, weil diese Schaufeln in Folge der ihnen gege-

benen Form der Flüssigkeit nur ihre schmale Kante darbieten. Andererseits verlässt das Wasser, wenn man das Rad eine passende Geschwindigkeit annehmen lässt, die Schaufeln nur mit sehr kleiner Geschwindigkeit, wie man leicht erkennt, wenn man das Verhalten des Wassers in dem Rad von seinem Eintritt bis zu seinem Austritt etwas näher untersucht. In der That sieht man, dass das Wasser, da es in jede Schaufel mit einer grösseren Geschwindigkeit, als diese selbst besitzt, eintritt, über die Oberfläche der Schaufel hingleitet und sich in ihr erhebt, bis die Schwere seine aufsteigende Bewegung völlig zerstört; von da an fliesst es wieder herab und nimmt auf diese Weise eine im Verhältniss zu den Schaufeln immer grösser werdende rückwärts gerichtete Geschwindigkeit an. Wenn es sich folglich trifft, dass diese relative Geschwindigkeit des Wassers in Bezug auf die Schaufel in dem Moment, wo es die Schaufel verlässt, gleich derjenigen ist, welche das Rad an seinem Umfang besitzt, so befindet sich das Wasser unter denselben Umständen, als wenn die letzten Theile der gekrümmten Schaufel unter ihm wegglitten, ohne es mitzunehmen; seine absolute Bewegung wird also Null. Das Ponceletrad befriedigt sonach, soweit diess bei einem unterschlächtigen Rad überhaupt möglich ist, die oben (§. 391) angegebenen allgemeinen Bedingungen fast vollständig.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Geschwindigkeit dieses Rads an seinem Umfange 0,55 von der des Wassers sein muss, damit man seinen Maximaleffekt erhält. In diesem Fall erhebt sich sein Wirkungsgrad auf 0,56 und selbst auf 0,60, während der des unterschlächtigen Rads mit ebenen Schaufeln, wie oben gesagt, blos 0,25 ist.

§. 396. **Räder, welche frei in einem weiten Kanale oder Fluss hängen.** — Um die verschiedenen Wasserräder mit horizontaler Axe vollständig kennen zu lernen, müssen wir noch von den Rädern mit ebenen Schaufeln reden, welche man frei in einen Strom oder Fluss hängt, sodass sie mit ihrem unteren Theil in das Wasser desselben tauchen. Diese Räder (Fig. 501), welche man gewöhnlich zur Seite von fest verankerten Schiffen anbringt, werden allein durch den Druck des in Bewegung befindlichen Wassers auf die in dasselbe tauchenden Schaufeln in Bewegung gesetzt. Es handelt sich hier nicht darum, genau abzuwägen, welche Form man dem Rad geben muss, um durch seine Anwendung einen grösseren oder geringeren Bruchtheil der Bewegungsarbeit des Wassers, welches man zur Verfügung hat, nutzbar zu machen. Diese Bewegungsarbeit, welche die Gesammtheit des Wassers, das den Fluss hinabfliesst, liefert, ist übermässig gross; man hat nur nöthig,

einen geringen Theil derselben nutzbar zu machen, und ist gewöhnlich in der Breite, welche man dem Rade geben kann, durch Nichts

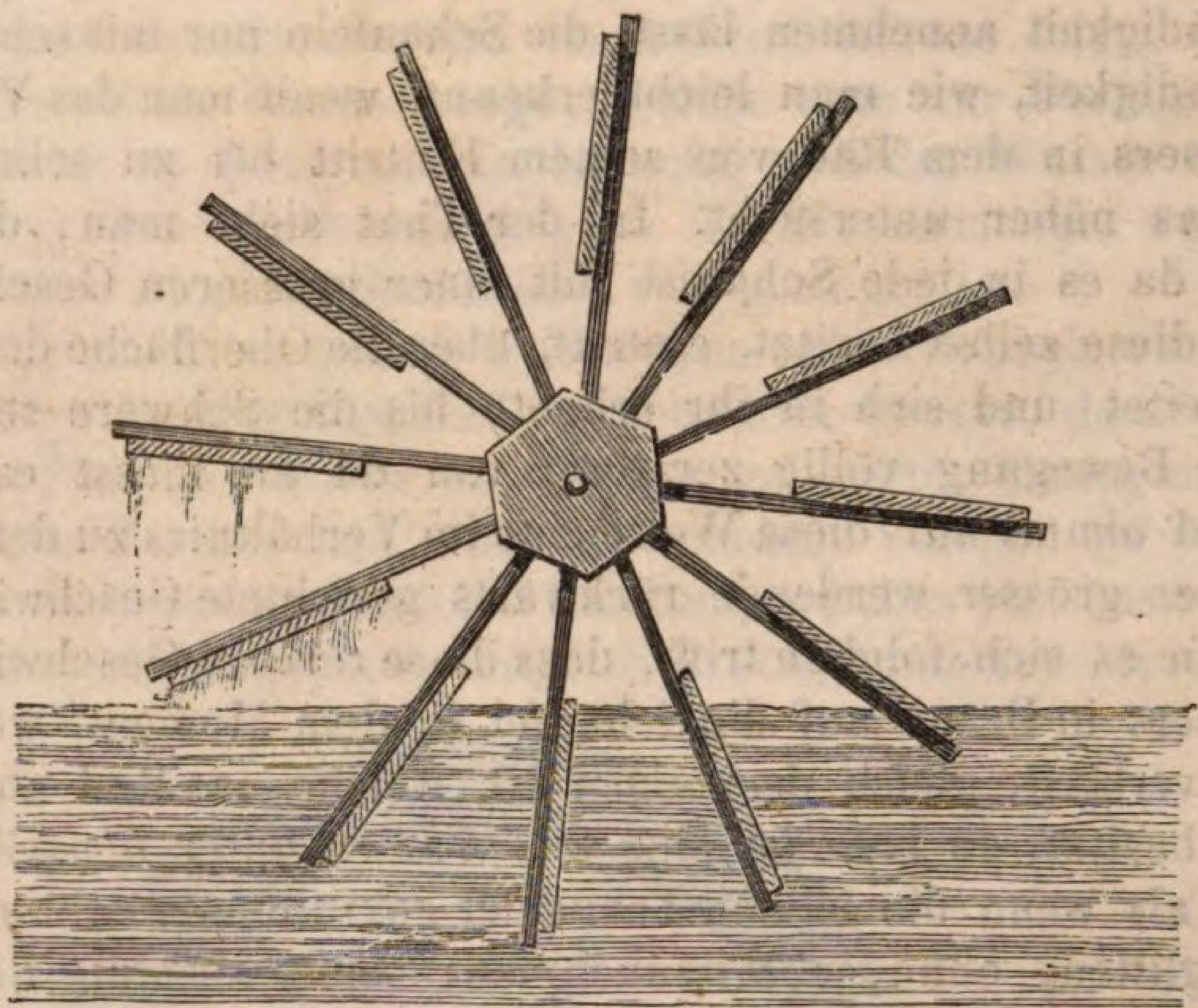


Fig. 501.

beschränkt. Desshalb zieht man es vor, ein Rad von sehr einfacher, obwohl weniger vortheilhafter Construktion anzuwenden, indem man durch eine grössere Breite der Schaufeln das zu erreichen sucht, was in anderen Fällen, bei engerer Beschränkung im Raume sowohl, als in der verfügbaren Kraft, durch eine bessere Einrichtung auch bei weniger grossen Dimensionen erzielt wird.

Ein Rad dieser Art liefert nicht immer dieselbe Arbeit, wenn es sich in dem nämlichen Flusse einmal schneller, einmal langsamer bewegt. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Geschwindigkeit der Schaufeln, in der Mitte ihrer Höhe genommen, 0,40 von der des Wassers sein muss, damit die durch das Wasser auf das Rad übertragene Arbeit möglichst gross wird.

§. 397. **Löffelrad.** — Die Räder mit vertikaler Axe werden schon seit geraumer Zeit, besonders im südlichen Frankreich, zur Bewegung der Mühlen angewendet. Sie haben bei dieser Art ihrer Verwendung vor den anderen den Vortheil voraus, dass bei ihnen die Uebertragung der Bewegung von dem Rade auf den Läufer (§. 168) viel einfacher ist; dieselbe vertikale Welle trägt an ihrem unteren Ende das Rad und an ihrem oberen den Läufer. Die schon früher angewandten Räder dieser Art theilen sich in zwei Klassen: in Löffelräder und in Kufenräder.

Ein Löffelrad (Fig. 502) besteht aus einer Art Nabe, in welcher eine Anzahl von hölzernen Schaufeln befestigt ist, die so geformt

sind, dass sie dem Wasser eine concave und schiefe Fläche darbieten; diese Schaufeln bezeichnet man mit dem Namen Löffel.

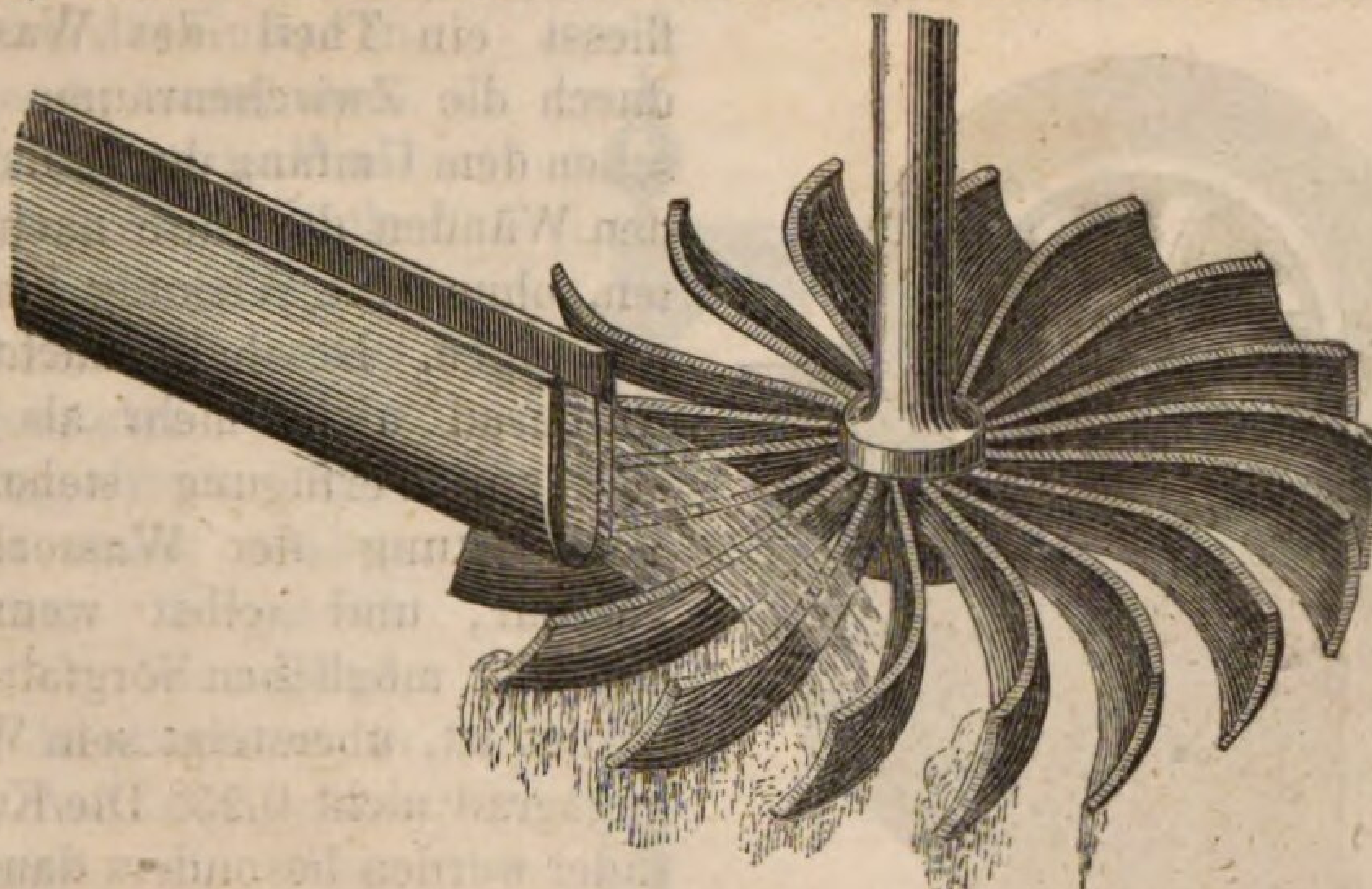


Fig. 502.

Das Wasser wird auf das Rad durch einen kleinen Kanal von Holz oder durch eine Rinne geführt, die an dem unteren Theil eines Reservoirs angebracht ist. Indem sich das Rad dreht, übt das Wasser nacheinander auf jeden der Löffel seine Wirkung aus, und die aufeinander folgenden Stösse, welche das Rad auf diese Weise erhält, unterhalten seine Bewegung.

Man hat gefunden, dass diese Räder ungefähr den dritten Theil der durch das Wassergefäll entwickelten Bewegungsarbeit nutzbar machen, und dass zu diesem Behufe die Geschwindigkeit der Punkte des Rads, welche direkt den Stoss des Wassers empfangen, ungefähr 0,70 von derjenigen der Flüssigkeit sein soll. Diese Räder empfehlen sich wegen ihrer grossen Einfachheit namentlich für grosse Gefälle mit wenig Wasser.

§. 398. **Kufenrad.** — Die Kufenräder haben eine ähnliche Form wie die Löffelräder; aber anstatt frei zu stehen und auf diese Weise den Stoss eines an ihrem Umfange auftreffenden Flüssigkeitsstrahls zu erhalten, befinden sie sich innerhalb einer cylindrischen Kufe von Mauerwerk, die nach unten offen ist. Das Aufschlagwasser wird in diese Kufe tangentiell an ihrem Umfange durch einen Kanal A geführt (Fig. 503), der sich über der oberen Seite des Rades endigt; in der Kufe angelangt nimmt es eine drehende Bewegung an und wirkt nun stossend und drückend gegen die Schaufeln des Rades, indem es in den Zwischenräumen zwischen den gekrümmten Schaufeln nach unten strömt und in das nntere Bett fällt.

Die Bewegung des Wassers in der Kufe ruft eine Reibung hervor, die seine Geschwindigkeit bedeutend vermindert; andererseits fliesst ein Theil des Wassers durch die Zwischenräume zwischen dem Umfang des Rads und den Wänden der Kufe nach unten, ohne eine Wirkung hervorzubringen. Desshalb macht ein Kufenrad nicht mehr als 0,16 der zur Verfügung stehenden Totalleistung der Wasserkraft nutzbar, und selbst wenn es mit aller möglichen Sorgfalt construirt ist, übersteigt sein Wirkungsgrad nicht 0,25. Die Kufenräder werden besonders dann angewendet, wenn man eine grosse Wassermenge mit geringem Gefäll hat.

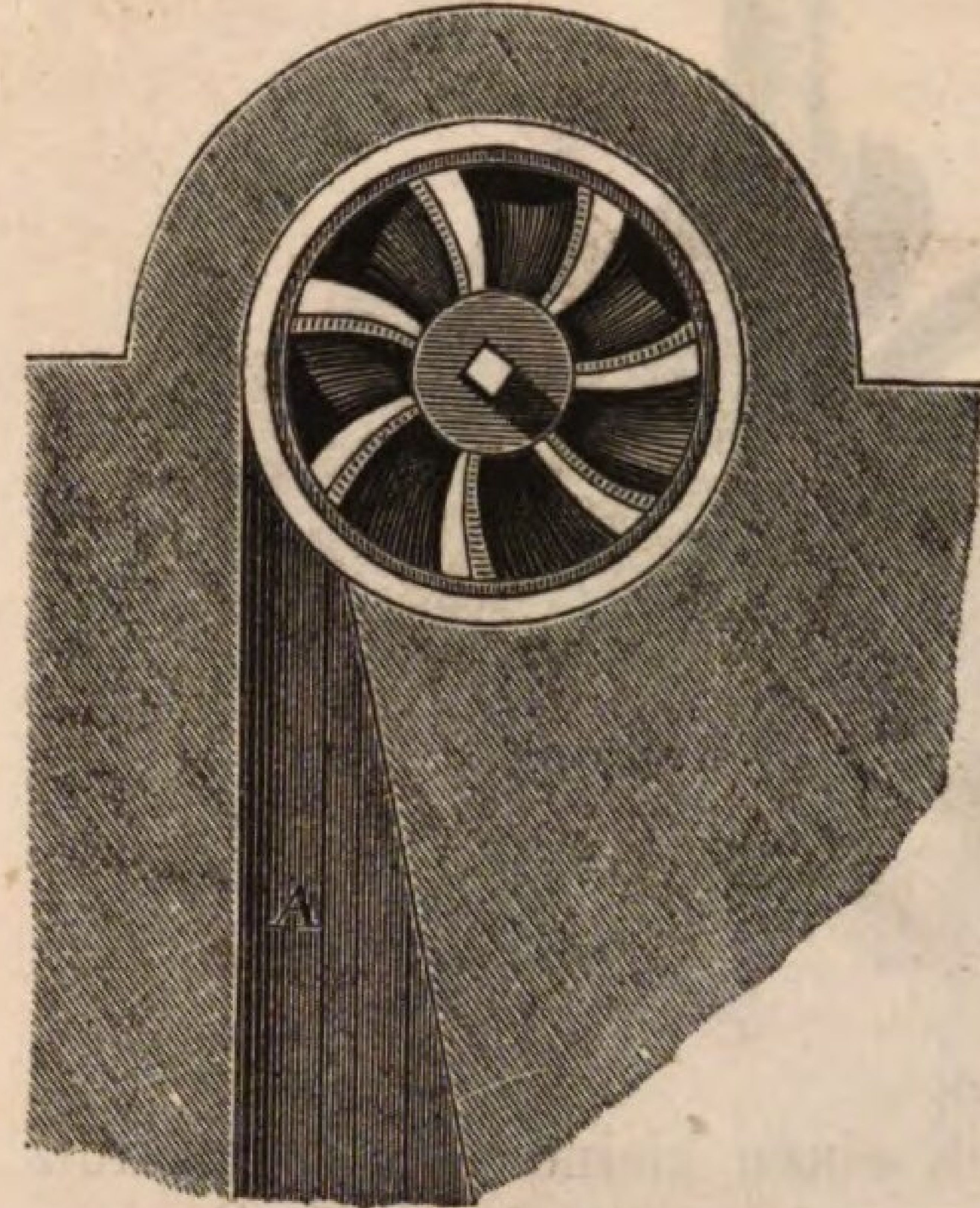


Fig. 503.

§. 399. **Reaktionsräder.** — Denken wir uns ein mit Wasser gefülltes Gefäss, so übt die Flüssigkeit in demselben auf jede Stelle der Seitenwand einen Druck aus, der normal zu dieser Stelle gerichtet ist, und dessen Grösse wir früher bestimmen gelernt haben. Es ist nicht schwer einzusehen, dass sich diese Drückungen sämmtlich das Gleichgewicht halten und das Gefäss folglich unter ihrem Einfluss in Ruhe bleiben muss. Wenn man aber an einer Stelle der Seitenwand des Gefässes eine Oeffnung anbringt, durch welche das Wasser ausfliesst, so wird dadurch der Druck einseitig entfernt, und es sucht folglich der, auf die gerade entgegengesetzte Seite des Gefässes auf eine Stelle wirkende Druck, welche dieselbe Grösse wie die Oeffnung hat, das Gefäss zu bewegen und thut diess in der That in einer dem ausfliessenden Strahl entgegengesetzten Richtung (Fig. 504), wenn das Gefäss leicht genug beweglich ist. Man sagt hier, das Wasser wirke durch seine Reaktion. Wenn man an einem mit Wasser gefülltes Gefäss, das so eingerichtet ist, dass es sich leicht um eine vertikale Axe drehen kann (Fig. 505), unten zwei horizontale Röhren anbringt, die mit Seitenöffnungen versehen sind, sodass

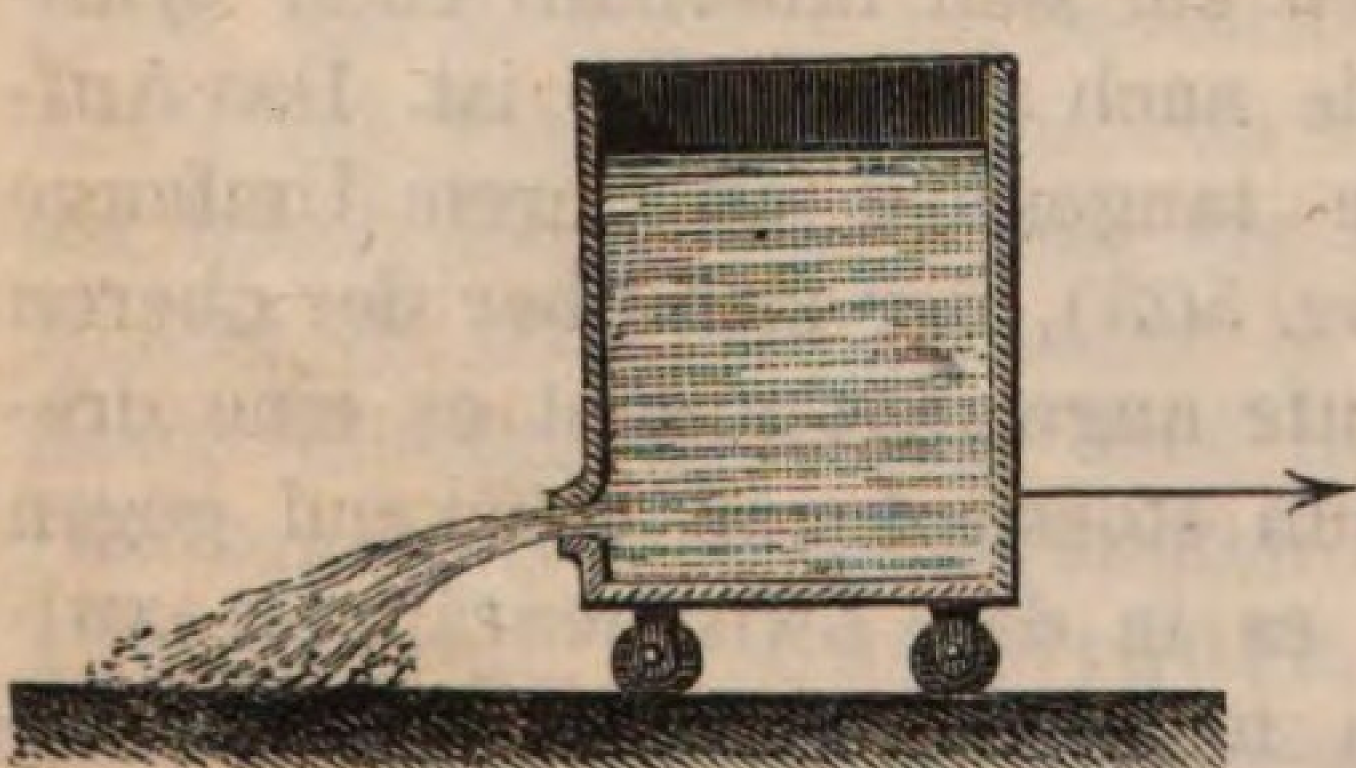


Fig. 504.

das Wasser in senkrechter Richtung auf diese Röhren, und zwar aus beiden nach entgegengesetzten Seiten hin, ausströmen kann, so wird das Gefäss in Folge der stattfindenden Reaktion des Wassers in einem der Richtung der ausfliessenden Strahlen entgegengesetzten Sinne herumgedreht. Man nennt einen solchen Apparat Segner'sches Wasserrad, auch Reaktionsapparat. Auf demselben Principe wie diese Vorrichtungen beruhen die hydraulischen Motoren, die man Reaktionsräder, auch Schottiche oder Whitelaw'sche Turbinen nennt. Eine solche Schottische Turbine zeigt die Fig. 506, deren Einrichtung wohl ohne weitere Erläuterung aus dem Vorhergehenden klar ist. Wir fügen nur hinzu, dass das Aufschlagwasser A dem Ausflussgefäss HK durch eine Röhre DEFG von unten zugeführt wird, damit dieses Gefäss und somit seine Umdrehungsaxe nicht das ganze Gewicht des wirkenden Wassers zu tragen hat, wodurch eine sehr bedeutende Reibung entstehen würde. Diese Turbinen eignen sich besonders für Wasserkräfte, die bei kleiner Wassermenge ein grosses Gefäll haben; sie geben einen Wirkungsgrad von 0,50 bis 0,60.

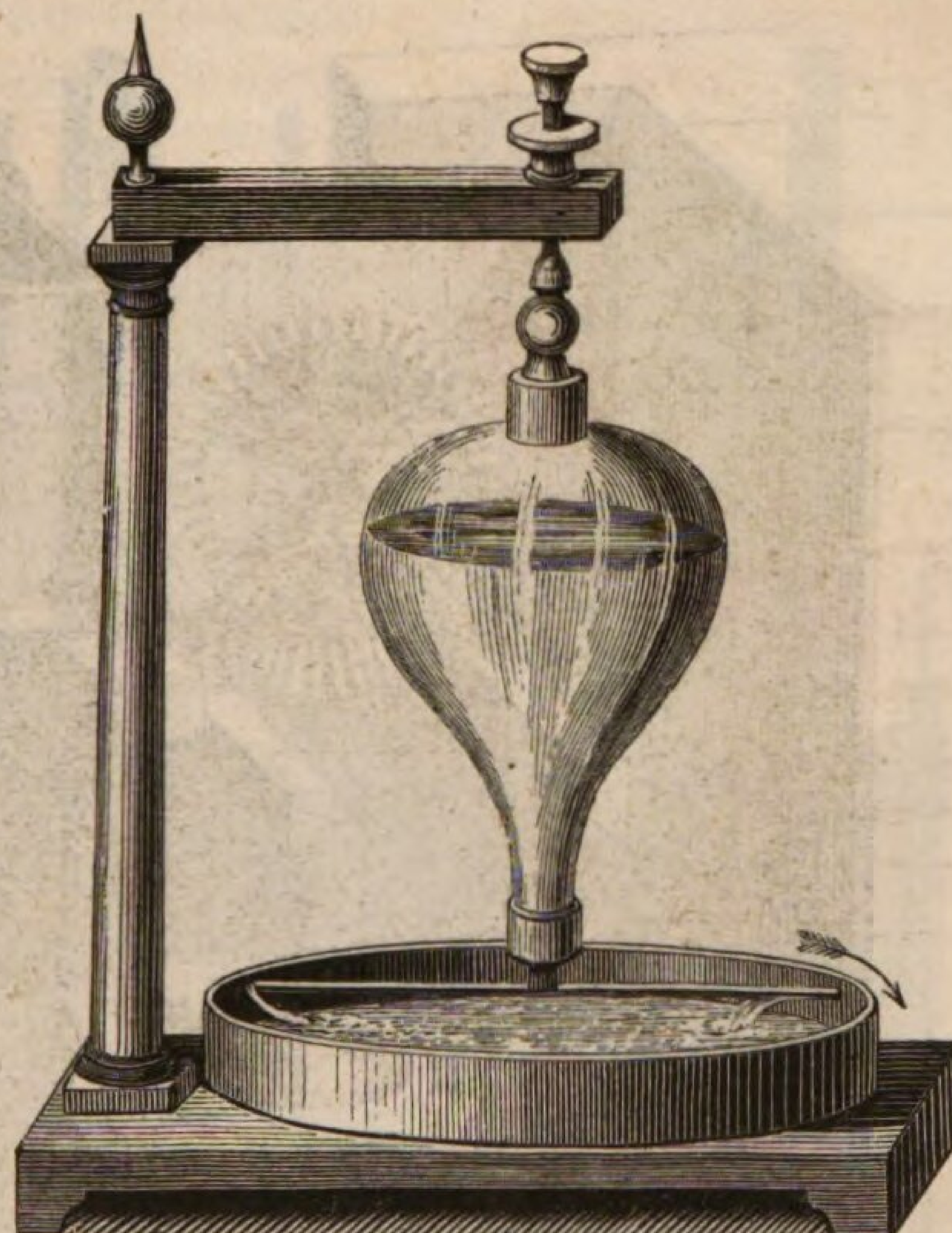


Fig. 505.

§. 400. **Die Fourneyron'sche Turbine.** — Die Wasserräder mit vertikaler Axe sind seit ungefähr 33 Jahren so vervollkommnet worden, dass sie gegenwärtig den Rang der besten hydraulischen Motoren, die man anwenden kann, einnehmen. Diese vollkommneren Räder mit vertikaler Axe nennt man ausschliesslich Turbinen. Wir wollen nun die Einrichtung derselben etwas näher kennen lernen.

Die erste Turbine, welche durch die Vortheile, die sie darbietet, und durch die guten Resultate, welche sie bezüglich ihres

Wirkungsgrades gibt, die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich zog, ist diejenige von Fourneyron. Sehen wir, wie dieselbe einge-

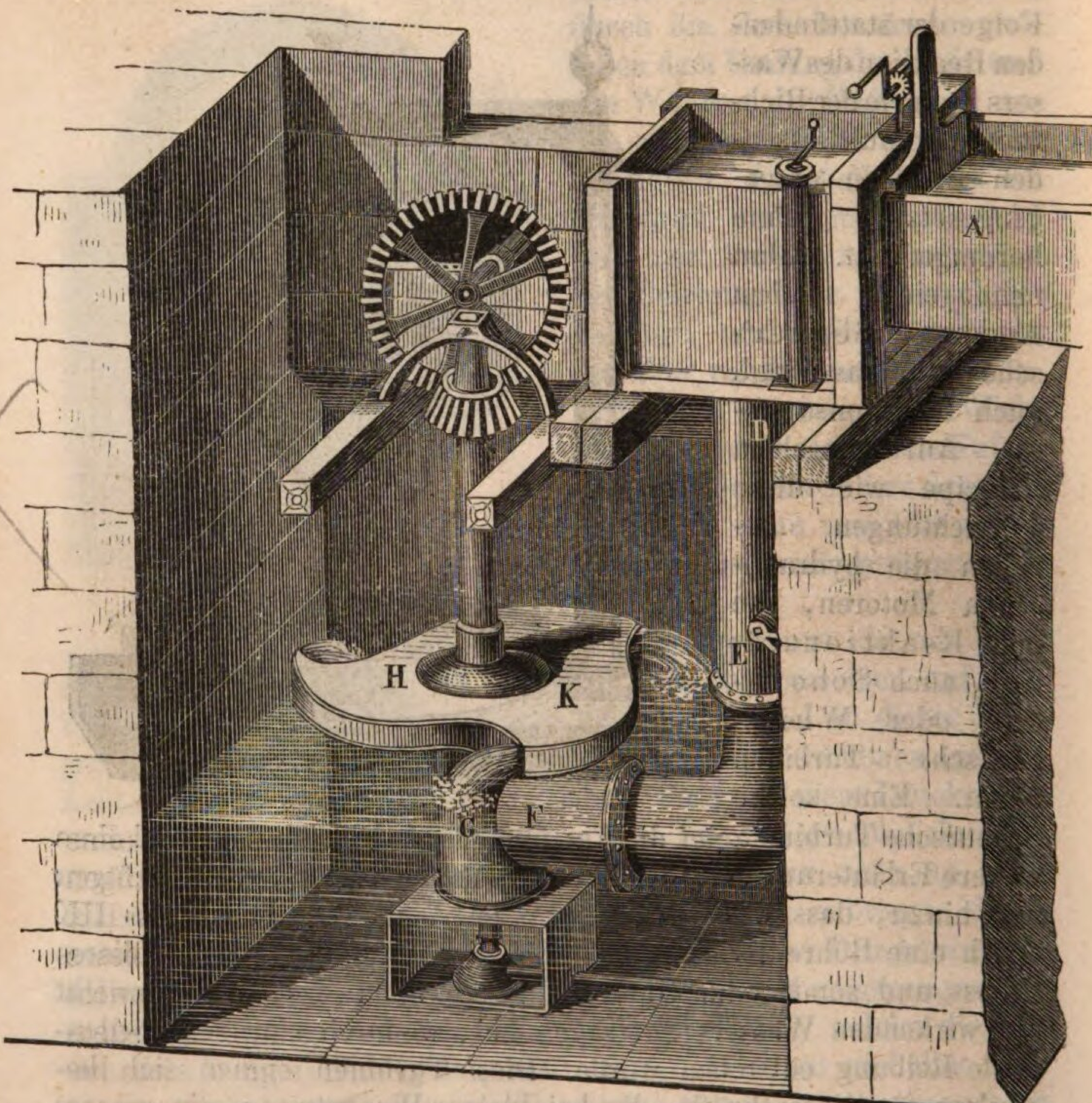


Fig. 506.

richtet ist. Das Aufschlagwasser A (Fig. 507) gelangt in einen Cylinder B, welcher sich bis unter das Niveau des Unterwassers erstreckt. Dieser cylindrische Behälter ist an seiner Basis geschlossen; dagegen besitzt er seitwärts, bei CC, eine Oeffnung, die rings um ihn herumgeht, sodass das Wasser, welches in dem Cylinder BB ankommt, ungehindert durch diese Oeffnung ausfliessen kann und auf diese Weise einen zusammenhängenden Strahl bildet, der nach allen Richtungen hin ausströmt. Rings um diese eben erwähnte ringförmige Oeffnung ist ein horizontales, gleichfalls ring-

förmiges Rad D so angebracht, dass sich die Schaufeln, welche es besitzt, überall dem aus obiger Oeffnung entweichenden Wasser

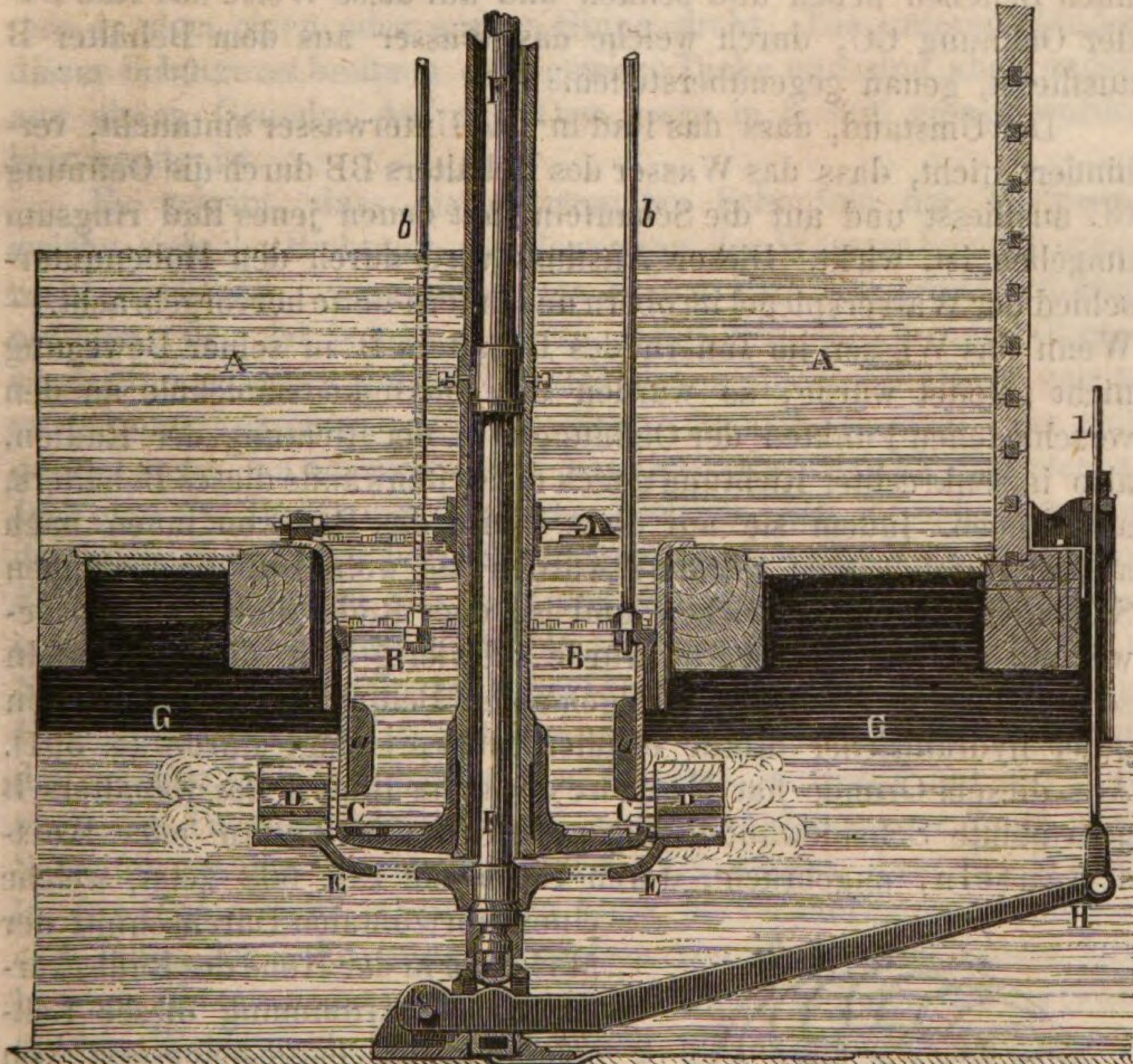


Fig. 507.

darbieten. Man erhält eine einfache Vorstellung von diesem Rade, wenn man sich denkt, dass das Rad der Fig. 500 (Seite 702) mit gekrümmten Schaufeln horizontal liege, und dass man seine Arme, welche den Kranz mit der Welle verbinden, abgenommen habe, damit die Basis des Behälters B in sein Inneres eindringen kann. Eine Art von eisernem Teller EE verbindet den Kranz des Rades mit einer Welle FF, die sich vertikal erhebt, indem sie durch das Innere einer Röhre, die inmitten des Behälters B angebracht ist, hindurch geht. Das Rad taucht vollständig in das Unterwasser ein, dessen Niveau sich in G befindet. Die Welle F endigt unten in einen Zapfen, der sich in einer Pfanne gegen den Hebel HK stützt, der um den Punkt K beweglich ist. Eine Stange L, die an dem Ende H des Hebels befestigt ist, endiget oben in eine Schraube, in welche eine Mutter eingreift. Indem man diese Mutter, die durch

feststehende Stücke an einer fortschreitenden Bewegung gehindert ist, dreht, kann man die Welle F mit dem Rade. welches sie trägt, nach Belieben heben und senken und auf diese Weise das Rad DD der Oeffnung CC, durch welche das Wasser aus dem Behälter B ausfliesst, genau gegenüberstellen.

Der Umstand, dass das Rad in das Unterwasser eintaucht, verhindert nicht, dass das Wasser des Behälters BB durch die Oeffnung CC ausfliesst und auf die Schaufeln, mit denen jenes Rad ringsum umgeben ist, wirkt. Dieser Ausfluss wird durch den Höhenunterschied der Wasserspiegel im obern und untern Bette hervorgebracht. — Wenn das Wasser im Innern des Behälters B in seiner Bewegung nicht geleitet würde, so würden die Flüssigkeitsmoleküle an den verschiedenen Punkten der Oeffnung C in der Richtung der Radien, also in senkrechter Richtung gegen die Seitenwände dieses Behälters, ausströmen. Indem sie auf diese Weise das Rad von innen nach aussen durchdringen würden, würden sie wohl auf die krummen Schaufeln desselben wirken und so dem Rade eine Rotationsbewegung mittheilen; aber es würde schwierig sein, diese Schaufeln so anzuordnen, dass den allgemeinen Bedingungen, welche ein guter hydraulischer Motor erfüllen muss, genügt würde (§. 391). Aus diesem Grunde hat Fourneyron im Innern des Behälters B gekrümmte Scheidewände, sogenannte Leitkurven oder Leitschaufeln, angebracht, deren Form die Fig. 508 zeigt, welche einen horizontalen Durchschnitt der Maschine in der Höhe des Rades vorstellt. Die Krümmung dieser Leitschaufeln ist entgegengesetzt von derjenigen der Schaufeln des Rades D. Daraus folgt, dass das Wasser aus dem Behälter B in schiefer Richtung gegen dessen Seitenfläche ausfliesst und die Schaufeln des Rades, welche sich dieser seiner Bewegung entgegensetzen, in fast senkrechter Richtung trifft: es übt folglich auf diese Schaufeln einen Druck aus, durch welchen das Rad im Sinne des Pfeiles gedreht wird.

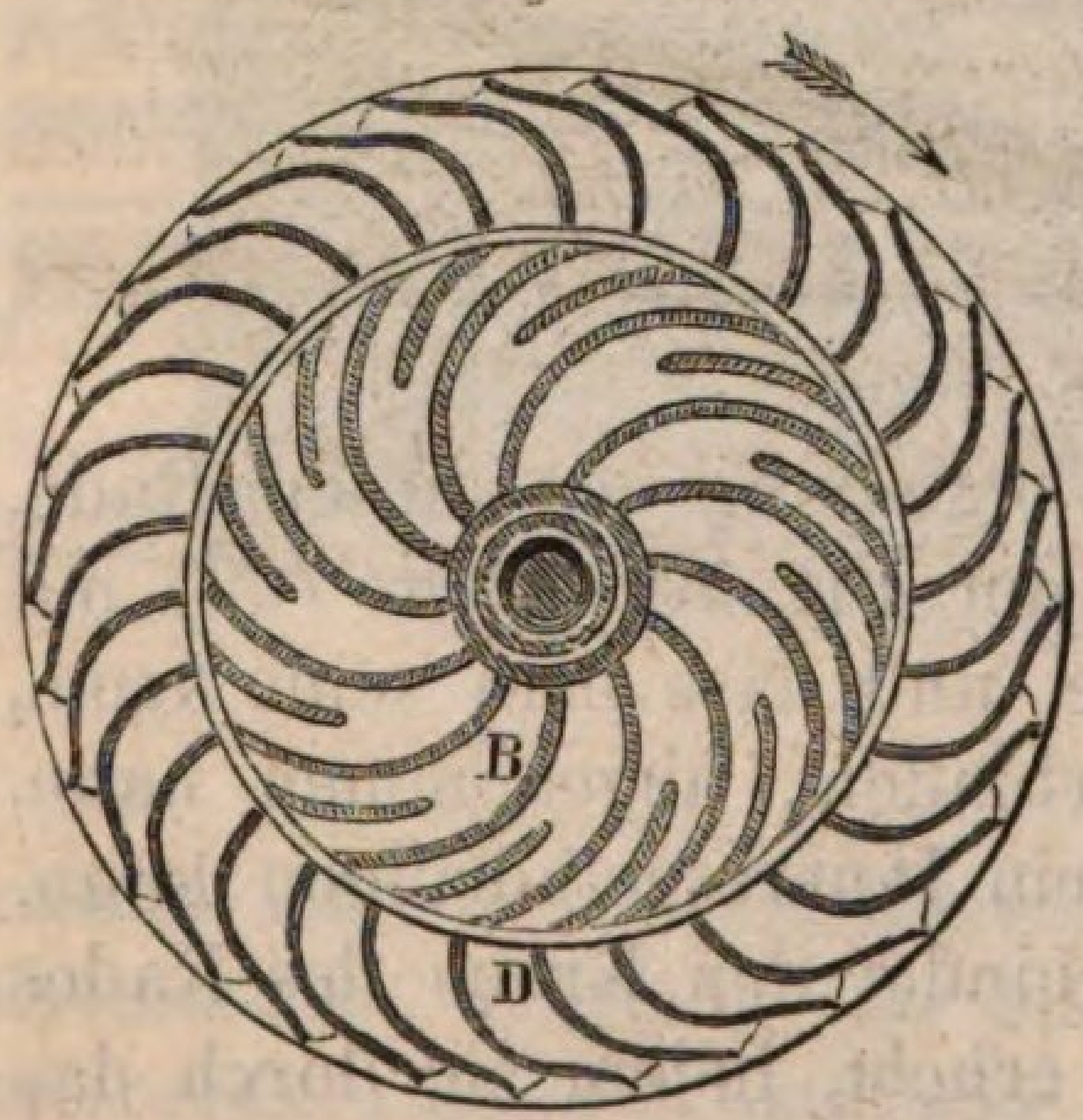


Fig. 508.

Im Innern des Behälters BB (Fig. 507) ist rings an seinem Umfange eine cylindrische Schütze *aa* angebracht. Diese Schütze ist dazu bestimmt, die Oeffnung CC, durch welche das Wasser aus dem Behälter in das Rad D strömt, mehr oder weniger zu verengen. Zu diesem Zwecke kann sie mittelst dreier vertikaler Stangen

bb, die an ihrem oberen Theile mit Schraubengewinden versehen sind, in welche Schraubenmuttern eingreifen, nach Belieben gesenkt oder gehoben werden, einfach indem man die eben erwähnten Muttern in dem einen oder andern Sinne dreht. Die unteren Ränder dieser Schütze *aa* besitzen eine gewisse Dicke und sind abgerundet, aus einem Grunde, der aus Dem, was in §. 306 gesagt wurde, klar genug ist.

Es scheint, dass die gekrümmten Schaufeln der Turbinen, welche sich der Richtung der Bewegung des Wassers beinahe senkrecht darbieten, einen Stoss von Seiten der Flüssigkeit erfahren müssten; dem ist jedoch nicht so, wenn sich die Turbine mit passender Schnelligkeit dreht. Um sich davon Rechenschaft zu geben, muss man beachten, dass die Stösse in anderer Weise vor sich gehen, wenn die Schaufeln sich bewegen, als wenn sie still stehen. In Folge der Bewegung des Rades bewegen sich die Schaufeln vor den Flüssigkeitsfäden her. Sie können folglich eine Einwirkung von Seite der Flüssigkeit nur in Folge der relativen Geschwindigkeit erfahren, welche diese Fäden in Bezug auf sie besitzen (§. 344). Nun sind die Schaufeln so angeordnet, dass, wenn die Turbine die Geschwindigkeit besitzt, mit der sie sich gewöhnlich bewegen soll, die relative Geschwindigkeit des Wassers in Bezug auf das Rad nach der Tangente gerichtet ist, welche an das innere Ende jeder Schaufel gezogen werden kann. Es folgt daraus, dass das Wasser in das Rad eintritt, ohne einen Stoss hervorzubringen. Indem es sich längs der gekrümmten Schaufeln von innen nach aussen fortbewegt, übt es gegen jeden Punkt derselben in Folge des fortwährenden Wechsels in seiner Richtung einen gewissen Druck aus. Endlich tritt es aus dem Rade mit einer relativen Geschwindigkeit, die im entgegengesetzten Sinne der Bewegung der Schaufeln gerichtet ist; und man begreift, dass man der Turbine eine solche Bewegung machen lassen kann, dass die Geschwindigkeit an ihrem äusseren Umfange genau gleich dieser relativen Geschwindigkeit ist. Wenn diese Bedingung erfüllt ist, so tritt das Wasser aus dem Rade, ohne eine merkliche Geschwindigkeit zu besitzen, und vermischt sich so mit dem Unterwasser, in welches die Turbine taucht; es wird so zu sagen ohne Geschwindigkeit von den Schaufeln abgesetzt, die sich weiter bewegen, ohne es ferner mitzunehmen. Man sieht daraus, dass die Turbine im Grund genau so wirkt wie die Reaktionsräder, die wir im vorigen Paragraphen beschrieben haben.

Aus dem eben Gesagten geht hervor, dass die Fourneyron'sche Turbine den im §. 391 angegebenen allgemeinen Beding-

ungen ebenso gut genügt, wie das Ponceletrad. Aber sie hat vor diesem letzteren Rad einen bedeutenden Vortheil voraus, der darin besteht, dass sich das Wasser längs den Schaufeln immer in dem nämlichen Sinne von innen nach aussen bewegt. Bei dem unterschlächtigen Wasserrad mit gekrümmten Schaufeln tritt das Wasser in jede Schaufel ein, steigt längs der Krümmung derselben in die Höhe, um alsdann wieder herabzusteigen und an der Stelle wieder auszutreten, wo es eingetreten war; daraus folgt, dass sich die verschiedenen Theile der Wassermasse, welche jede der Schaufeln enthält, in ihrer Bewegung, sowohl in der aufsteigenden wie in der niedersteigenden, gegenseitig hindern müssen. In der Fourneyron'schen Turbine dagegen folgen die verschiedenen Wassermengen, welche nach und nach auf ein und dieselben Schaufeln wirken, da sie sich stets in dem nämlichen Sinn bewegen, aufeinander, ohne sich gegenseitig zu hindern. Zu diesem kommt noch, dass, da das Wasser zu gleicher Zeit auf alle Schaufeln der Turbine wirkt, die horizontalen Pressungen, welche es auf diese Schaufeln ausübt, die Axe des Rades weder nach der einen noch nach der anderen Seite hinüber zu drücken suchen; diese Pressungen rufen also keinerlei Reibung der Welle, weder an ihrem Zapfen noch an den Körpern hervor, welche sie in verschiedenen Punkten ihrer Höhe berühren, und welche dazu bestimmt sind, sie genau in vertikaler Lage zu erhalten. Diese Umstände, welche bei einem Rad mit horizontaler Axe nicht stattfinden können, verursachen, dass die Turbine, von der wir sprechen, bessere Resultate als das Ponceletrad gibt. Die Erfahrung hat gezeigt, dass der Wirkungsgrad dieser Turbine gleich 0,75 ist und sich in gewissen Fällen sogar auf 0,80 erheben kann.

Aber die Fourneyron'sche Turbine bietet noch andere Vortheile von grosser Wichtigkeit, die wir nun namhaft machen wollen. Zunächst kann sie, wie Fig. 507 zeigt, mitten im Unterwasser in Thätigkeit gesetzt werden. Es folgt aus dieser Einrichtung, welche von Fourneyron getroffen wurde, die aber, nebenbei gesagt, nicht unbedingt erforderlich ist, 1) dass die Maschine jederzeit, bei sehr hohem sowohl wie bei niedrigem Wasserstand, ihre Thätigkeit ausüben kann, ohne dass man sich um die Höhe des Wasserspiegels im unteren Bette viel zu bekümmern brauchte; 2) dass die ganze Höhe des Gefälls nutzbar gemacht wird, was nicht der Fall ist, wenn das Rad über das Niveau des Unterwassers gestellt werden muss; 3) dass die Maschine auch zur Zeit der strengsten Winterkälte in Gang bleiben kann, weil das Wasser immer nur an der Oberfläche gefriert.

Ein anderer, durch vielfache Erfahrungen bestätigter Vortheil der Turbine, mit der wir uns eben beschäftigen, besteht darin, dass man ihre Geschwindigkeit in ziemlich weiten Grenzen zu beiden Seiten der Geschwindigkeit, welche dem Maximaleffekt entspricht, sich ändern lassen kann, ohne dass ihr Wirkungsgrad bedeutend geringer wird. Dieses Resultat ist von sehr grosser Wichtigkeit in den Fällen, wo sich eine Turbine immer mit der nämlichen Geschwindigkeit bewegen soll, während doch die Höhe des Gefälls des Aufschlagwassers eine andere wird. In Wirklichkeit hängt die Geschwindigkeit einer Turbine, welche ihrem Maximaleffekt entspricht, von der Höhe des Gefälls ab; sie vermehrt und vermindert sich zugleich mit diesem Gefäll. Wenn sich folglich eine Turbine bei verschiedenen Gefällshöhen immer mit der nämlichen Geschwindigkeit bewegt, so hat sie nicht fortwährend die Geschwindigkeit, bei welcher sie die Maximalleistung gibt. Es ist also von sehr grosser Wichtigkeit, dass die Maschine, wenn sie auch mit einer Geschwindigkeit, die sich von jener speciell unterscheidet, in Thätigkeit ist, doch Resultate liefert, welche sich von der grössten Leistung, die man von ihr erhalten kann, nicht viel entfernen.

Endlich kann die Fourneyron'sche Turbine bei allen Arten von Wassergefällen angewandt werden, vorausgesetzt, dass bei ihrer Construktion auf die grössere oder geringere Wassermenge, welche in ihr zur Wirkung kommen soll, sowie auf die Schnelligkeit ihrer Bewegung, Rücksicht genommen ist. Folgende zwei Beispiele werden hinreichen, um keinen Zweifel darüber aufkommen zu lassen. Fourneyron hat bei Saint-Blaise im Schwarzwalde eine Turbine angelegt, welche durch ein Gefäll von 108 Meter Höhe in Bewegung gesetzt wird. Diese Turbine, deren Durchmesser nur $0^m,55$ ist, macht 2300 Umdrehungen in der Minute und hat 40 Pferdekräfte; ihr Wirkungsgrad ist 0,75. Auf der anderen Seite hat man durch Versuche, die an einer Turbine, welche bei Gisors aufgestellt ist, gemacht wurden, gefunden, dass der Wirkungsgrad derselben bei einem Gefälle von $1^m,15$ gleich 0,75, bei einem Gefälle von $0^m,62$ gleich 0,66 und bei einem Gefäll von $0^m,31$ noch gleich 0,60 ist. Keines der bekannten hydraulischen Räder hätte unter solchen Ausnahmsumständen so gute Resultate geben können.

§. 401. **Callon'sche Turbine.** — Bei allen Vortheilen, welche, wie wir soeben gesehen haben, die Fourneyron'sche Turbine besitzt, hat sie doch auch einen Nachtheil, welcher verursacht, dass sie nicht immer einen so grossen Theil der durch das Wassergefälle entwickelten Arbeit nutzbar macht. Wir haben gesagt, dass die Oeffnung, durch welche das Wasser aus dem Behälter tritt, um

in das Rad zu gelangen, im Sinne ihrer Höhe mittelst einer cylindrischen Schütze, welche sich rings um den Behälter erstreckt, mehr oder weniger verengt werden kann, indem man diese Schütze nach Belieben hebt oder senkt. Man gibt dieser Schütze die eine oder die andere Stellung, je nachdem man gerade eine grössere oder geringere Menge von Aufschlagwasser zur Verfügung hat. Der Wasserstrahl, welcher aus dem Behälter, rings um seinen Umfang, entweicht, um in das Rad einzutreten, hat also je nachdem eine grössere oder geringere Dicke; er füllt somit das Rad nicht immer in der ganzen Höhe desselben aus. Der obere Theil des zwischen den Schaufeln enthaltenen Raumes bleibt indessen nicht leer; aber das Wasser, welches sich dort befindet, besitzt nicht die Geschwindigkeit wie dasjenige, welches aus dem Behälter kommt; dadurch werden Wirbelbewegungen hervorgebracht, die Geschwindigkeitsverluste nach sich ziehen und eine Verminderung des Nutzeffekts der Maschine verursachen. Desshalb hat auch Fourneyron sein Rad im Sinne seiner Höhe mittelst horizontaler Scheidewände, welche man in Fig. 507 sieht, in mehrere Abtheilungen getheilt. Aber diese Scheidewände können natürlich den bezeichneten Nachtheil nicht vollständig beseitigen.

Aus diesem Grunde hat Ch. Callon ein anderes Mittel erdacht, um die Menge des von der Turbine verbrauchten Wassers zu reguliren. Dieses Mittel besteht darin, dass er die eine Schütze Fourneyron's durch eine grosse Zahl kleiner besonderer Schützen ersetzt hat, welche den verchiedenen Theilen der Oeffnung entsprechen, durch welche das Wasser aus dem Behälter in das Rad tritt. Man begreift, dass man mittelst dieser Modification die Wassermenge, welche aus dem Reservoir fliesst, vermindern kann, ohne dem Strahl des Wassers eine geringere Dicke geben zu müssen. Man darf nur einige von den kleinen Schützen, die man so auswählt, dass sie regelmässig um den Umfang des Behälters vertheilt liegen, vollständig verschliessen und alle die anderen dagegen ganz offen lassen. Auf diese Weise wird der Nachtheil, welchen wir von der Fourneyron'schen Turbine angegeben haben, zwar beseitigt, aber er wird zugleich durch einen anderen ersetzt, welcher darin besteht, dass die verchiedenen Theile des Rades abwechselnd vor geöffneten und geschlossenen Schützen vorbeigehen müssen. In dem Augenblick, wo der Zwischenraum zwischen zwei Schaufeln gegenüber einer geschlossenen Schütze ankommt, kann das darin enthaltene Wasser, welches eine ziemlich grosse Geschwindigkeit besitzt, seine Bewegung nur fortsetzen, indem es einen luftleeren Raum hinter sich lässt, wodurch eine plötzliche Verminderung

seiner Geschwindigkeit und folglich ein Verlust von Arbeit hervorgebracht wird.

§. 402. **Fontaine'sche Turbine.** — Fontaine in Chartres hat der Turbine eine andere Einrichtung gegeben als diejenige, welche Fourneyron angenommen hat. Anstatt das Aufschlagwasser in einem Cylinder, der bis zur Mitte des Rades hinabreicht, niedergehen, an dem ganzen Umfang dieses Cylinders ausfliessen und von innen nach aussen durch das Rad gehen zu lassen, hat er die Einrichtung getroffen, dass das Wasser aus dem Reservoir A (Fig. 509) durch eine ringförmige Oeffnung, die in dem Boden des-

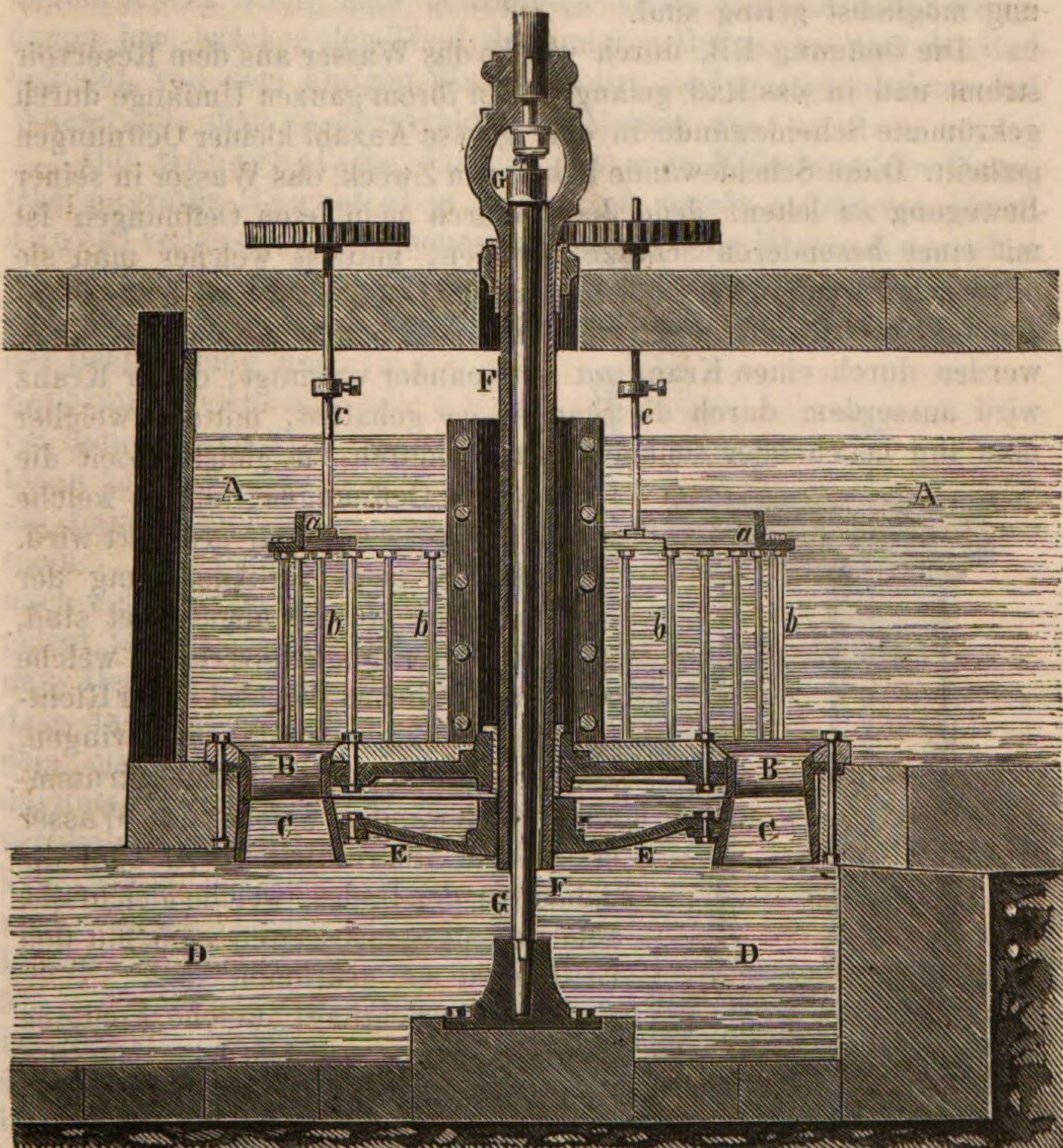


Fig 509.

selben angebracht ist, ausfliessen und auf das Rad CC, welches unter diese ringförmige Oeffnung gestellt ist, von oben nach unten

wirken kann. Das Rad ist durch eine Art eisernen Teller EE mit einer vertikalen Welle FF verbunden, welcher es seine Rotationsbewegung mittheilt. Diese Welle ist hohl und umschliesst eine zweite Axe GG, welche sich fest gegen den Boden des unteren Bettes stützt. Diese letztere Axe dreht sich nicht mit dem Rade; sie trägt an ihrem oberen Ende, welches die Pfanne bildet, einen Zapfen, der fest mit der Welle FF des Rades verbunden ist. Durch diese Einrichtung ist die Turbine so zu sagen aufgehängt, und da sich der Zapfen ausser dem Wasser befindet, so kann man denselben leicht in einem Zustande erhalten, wo die Reibung und die Abnützung möglichst gering sind.

Die Oeffnung BB, durch welche das Wasser aus dem Reservoir strömt und in das Rad gelangt, ist in ihrem ganzen Umfange durch gekrümmte Scheidewände in eine grosse Anzahl kleiner Oeffnungen getheilt. Diese Scheidewände haben den Zweck, das Wasser in seiner Bewegung zu leiten. Jede der dadurch gebildeten Oeffnungen ist mit einer besonderen Schütze versehen, mittelst welcher man sie mehr oder weniger verschliessen kann. Die oberen Enden der Stangen *b*,*b*, welche an diesen verschiedenen Schützen befestigt sind, werden durch einen Kranz *aa* miteinander vereinigt; dieser Kranz wird ausserdem durch die Stangen *c*,*c* gehalten, mittelst welcher man ihn heben oder senken kann, wodurch zu gleicher Zeit die Grösse der Oeffnungen, durch welche sich das Wasser ergiesst, geändert wird. Die Fig. 510 zeigt die Anordnung der Schützen *d*,*d*, welche abgerundet sind, um die Geschwindigkeitsverluste, welche aus dem plötzlichen Wechsel in der Richtung der Flüssigkeitsfäden entspringen, zu vermindern; *e*,*e* sind die gekrümmten Scheidewände, welche das Wasser bei seinem Austritt leiten; *f*,*f* sind die Schaufeln des Rades, welche gleichfalls, aber im entgegengesetzten Sinne mit den Leitkurven *e*,*e*, gekrümmt sind.

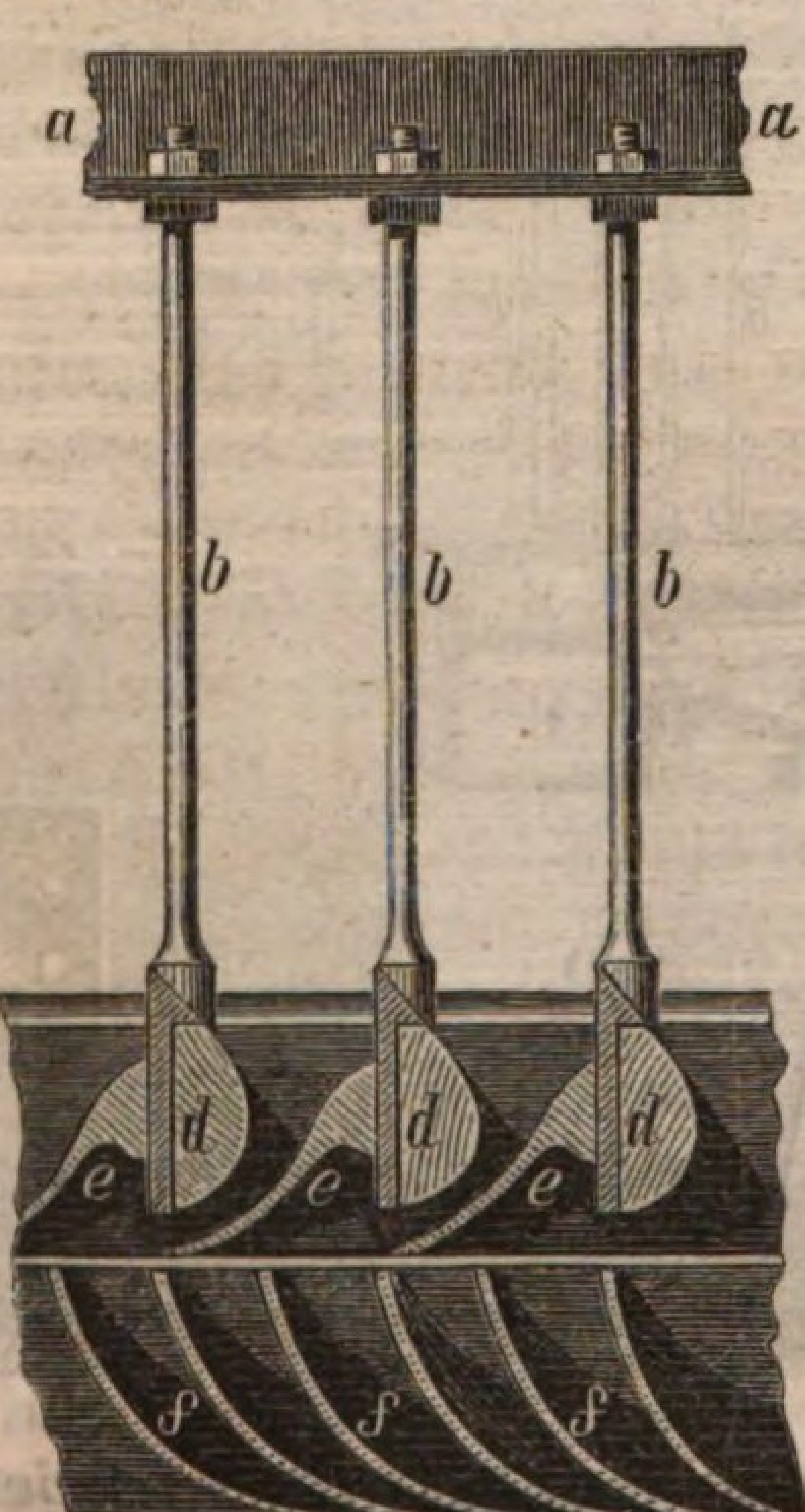


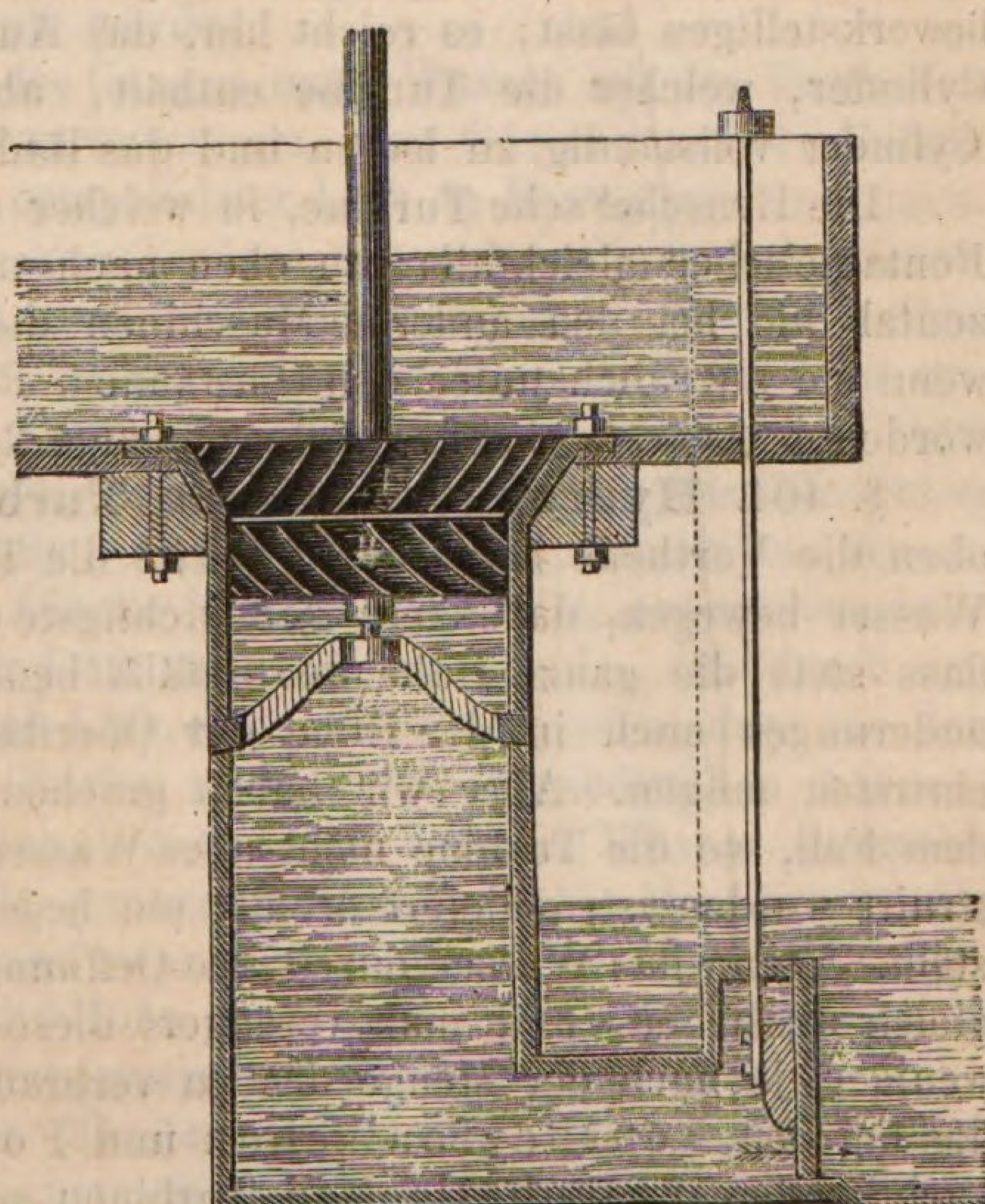
Fig. 510.

Die Einrichtung, welche Fontaine seinen Schützen gegeben hat, beseitigt zum grössten Theil die Nachtheile, welche wir bei der Fourneyron'schen Turbine bezeichnet haben, und welche eine Verminderung des Wirkungsgrades der Maschine veranlassen, wenn ihr

nicht das ganze Wasser geliefert wird, das sie zu verbrauchen im Stande ist. Bei hinreichend geöffneten Schützen geben übrigens beide Arten von Turbinen gleichgute Resultate.

§. 403. **Henschel-Jonval-Koechlin'sche Turbine.** — Die Turbinen mit denen wir uns bisher beschäftigten, haben für etwa an denselben vorzunehmenden Reparaturen eine unbequeme Stellung. Man kann zu dem Rade nur dann gelangen, wenn man zuvor durch irgend ein Mittel die Oberfläche des Unterwassers, in welches die Turbine ganz eintaucht, oder über welchem sie sich nur in geringer Entfernung befindet, bedeutend erniedrigt hat. Zu diesem Zweck stellt man gewöhnlich einen provisorischen Fangdamm her, welcher den Theil des unteren Bettes, wo sich das Rad befindet, von dem übrigen Wasser isolirt, und pumpt alsdann das Wasser aus dem so abgeschlossenen Raume aus.

Die Henschel'sche Turbine ist eine Erfindung des Herrn Oberbergraths Henschel in Kassel; sie wurde später von Herrn Jonval verbessert und in neuester Zeit durch die Herren Koechlin in Mühlhausen noch mehr vervollkommnet; ihre von den bisherigen verschiedene Einrichtung hat den Zweck, die Schwierigkeiten der Besichtigung und Reparatur, welche wir bei den anderen Turbinen soeben bezeichnet haben, zu beseitigen. Das Princip, nach welchem sie angelegt ist, ist folgendes. Denken wir uns, dass das Wasser aus dem oberen Bette in das untere durch einen vertikalen Cylinder geleitet werde, der sich nach diesen beiden Betten hin öffnet (Fig. 511); die in Folge des Durchflusses des Wassers durch diesen Cylinder entwickelte Arbeit kann man nutzbar machen, indem


Fig. 511.

man an seinem unteren Theil eine solche Turbine wie diejenige,

die wir eben beschrieben haben, aufstellt. Aber anstatt die Turbine an den tiefsten Punkt dieses Gefälles zu setzen, kann man sie in irgend einem Punkte der Höhe des Cylinders anbringen, vorausgesetzt, dass das Wasser, nachdem es das Rad verlassen hat und hierauf den unteren Theil des Cylinders zwischen dem Rad und dem Unterwasser durchläuft, erst dann in direkte Verbindung mit der Atmosphäre kommt, wenn es in dem unteren Bette angekommen ist. Man sieht in der That, dass man Das, was man auf der einen Seite durch das Höherstellen der Turbine und der daraus folgenden Verringerung der Höhe der Oberfläche des Oberwassers über dem Rade an Druckkraft verliert, auf der anderen Seite durch das Saugen, welches in dem unter dem Rad gelegenen Theil des Cylinders hervorgebracht wird, wieder gewinnt, da dieses Saugen um so stärker wirkt, je höher das Rad über dem Niveau des Unterwassers steht; die Kraft, mit welcher das, durch das Rad fliessende Wasser auf dieses wirkt, entspricht in jeder Lage desselben dem Höhenabstande zwischen dem oberen und unteren Wasserspiegel. Man begreift jetzt, dass man der Maschine eine solche Lage geben kann, welche die Besichtigung und Reparatur derselben viel leichter bewerkstelligen lässt; es reicht hin, das Aufschlagwasser von dem Cylinder, welcher die Turbine enthält, abzusperren, um diesen Cylinder vollständig zu leeren und das Rad trocken zu legen.

Die Henschel'sche Turbine, in welcher das Wasser wie in der Fontaine'schen gleichfalls von oben nach unten, und nicht horizontal wie bei den anderen Maschinen dieser Art, wirkt, liefert, wenn sie nur auch unter den Umständen, für welche sie construirt worden ist, wirkt, ebenfalls sehr günstige Resultate.

§. 404. **Hydropneumatische Turbinen.** — Wir haben oben die Vortheile bezeichnet, welche die Turbinen, die sich unter Wasser bewegen, darbieten; der wichtigste derselben besteht darin, dass stets die ganze Höhe des Gefälls benützt wird, welche Veränderungen auch in der Höhe der Oberfläche des Unterwassers eintreten mögen. Aber wir haben gesehen, dass daraus auch in dem Fall, wo die Turbine nicht alles Wasser, für welches sie construirt worden ist, geliefert erhält, ein bedeutender Nachtheil entsteht. Wenn das Wasser durch alle Oeffnungen des Reservoirs zugleich ausströmt, und man verengert diese Oeffnungen mehr oder weniger, je nach der Menge des zu verbrauchenden Wassers, wie das bei den Fourneyron'schen und Fontaine'schen, sowie auch bei den Henschel'schen Turbinen geschieht, so erfüllt das Wasser nicht den ganzen Raum zwischen den Schaufeln des Rades; der übrige Theil dieses Raumes wird vom Wasser des untern Bettes

eingenommen, welches nur mit dem Rade herumgedreht wird, und dessen Gegenwart zu Wirbelbewegungen Veranlassung gibt, die stets einen Verlust an Arbeit hervorrufen. Wenn eine gewisse Anzahl der Ausfluss-Oeffnungen des Behälters geschlossen wird, während die andern vollständig geöffnet bleiben, wie bei der Callon'schen Turbine, so füllt sich der Zwischenraum zwischen den Schaufeln des Rades zwar vollständig, wenn dieselben vor einer nicht geschlossenen Oeffnung vorbeigehen, aber wenn diese Zwischenräume vor einer geschlossenen Oeffnung vorbei kommen, so erfährt das Wasser darin in Folge dessen, dass seine Bewegung einen luftleeren Raum hinter ihm hervorzubringen sucht, eine plötzliche Verzögerung. Diese Nachtheile sind nicht vorhanden, wenn sich die Maschine ausser Wasser bewegt, selbst wenn dieselbe so eingerichtet wäre, dass die Zwischenräume zwischen ihren Schaufeln niemals vollständig mit dem Wasser, welches sie durchdringt, gefüllt wären. Der übrige Theil dieser Räume würde in diesem Falle durch Luft eingenommen werden, welche mit der äusseren Luft frei in Verbindung stünde, und deren Gegenwart die Bewegung des Wassers in den Höhlungen zwischen den gekrümmten Schaufeln nicht beeinträchtigen würde.

Um die Vortheile des Ganges unter Wasser mit den Vortheilen des Ganges in der Luft zu vereinigen, kam Girard auf den Gedanken, die Turbinen in comprimirter Luft in Bewegung zu setzen. Denken wir uns, dass eine Turbine unter dem Spiegel des Unterwassers angebracht sei, und dass sie von einer Art Glocke, welche in das Wasser taucht, und deren Ränder etwas tiefer als der unterste Theil des Rades liegen, bedeckt werde. Wenn man in diese Glocke Luft hineindrückt, so senkt sich das Niveau des Wassers in derselben mehr und mehr; aber von dem Augenblick an, wo es bis zu dem Rande der Glocke herabgesunken ist, entweichen neue Quantitäten zugeführter Luft unter diesem Rande, um durch das Unterwasser in die freie Luft emporzusteigen, ohne dass sie den Wasserspiegel in der Glocke noch weiter herabdrücken können. Mittelst dieser Einrichtung ist das Rad nicht in Wasser getaucht, sondern befindet sich in geringer Entfernung über dem Niveau des umgebenden Wassers, und zwar stets in derselben Höhe über demselben, welches auch die Höhe des Unterwassers ist. Darin besteht das Princip der hydropneumatischen Turbinen.

Man gibt sich über die Art und Weise, auf welche das Wasser in einer solchen Turbine wirkt, leicht Rechenschaft, wenn man sich dessen erinnert, was wir für den Ausfluss einer Flüssigkeit durch eine Oeffnung für den Fall gesagt haben, wo der Druck auf

die Oeffnung grösser ist, als auf die freie Oberfläche der Flüssigkeit im Reservoir (§. 303). Wenn das Niveau des Unterwassers 3 Decimeter über dem Rande der Glocke, welche die Turbine enthält, gelegen ist, so wird der Ueberschuss des Druckes der in dieser Glocke eingeschlossenen Luft über den der äusseren Luft durch eine Wassersäule von 3 Decimeter Höhe gemessen. Der Ausfluss des Wassers des Behälters durch die Turbine und folglich in die comprimirte Luft der Glocke geschieht also auf dieselbe Weise, als wenn diese Luft nicht comprimirt und das Niveau des Oberwassers um 3 Decimeter niedriger wäre. Es entspricht folglich der Ausfluss der Flüssigkeit stets der Höhe des Gefälls, d. h. dem Niveau-Unterschiede des Ober- und Unterwassers. Die Anwendung der Glocke mit comprimirter Luft führt also zu denselben Resultaten, als wenn man, das Rad an dem Platze, wo es sich befindet, ruhig stehen lassend, das Ober- und Unterwasser zugleich um die nämliche Grösse senken würde, bis das Niveau des letzteren unmittelbar unter das Rad zu liegen käme. Man sieht daraus, dass eine hydropneumatische Turbine die Vortheile des Gangs in der Luft mit dem verbindet, so viel als möglich das ganze Gefäll nutzbar zu machen.

Bei der Construktion der hydropneumatischen Turbine hat man nicht nöthig, solche Dimensionen anzuwenden, dass die Zwischenräume zwischen den Schaufeln des Rades vollständig mit Flüssigkeit gefüllt sind, wenn die Turbine die grösste Wassermenge, welche ihr geliefert werden kann, verbraucht. Es ist selbst besser, wenn ein Theil dieser Zwischenräume immer von Luft eingenommen wird, welche mit der umgebenden Luft frei communicirt. Daraus folgt, dass man in dem Fall, wo man nur eine geringe Menge Aufschlagwasser zur Verfügung hat, dem Rade grössere Dimensionen geben kann, als ohne Dieses der Fall wäre, und dass man es folglich weniger schnell drehen lassen kann, was immer vortheilhaft ist. Alsdann ist auch die Anwendung der einzelnen Schützen Callon's, sei es dass diese an Fourneyron'schen oder an Fontaine'schen Turbinen angebracht würden, der Einrichtung vorzuziehen, die darin besteht, die Oeffnungen, durch welche das Wasser aus dem Reservoir in das Rad tritt, mehr oder weniger zu verengern, aber keine derselben vollständig zu verschliessen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die auf diese Art angelegten Turbinen nahezu ein und den nämlichen Wirkungsgrad (0,75) geben, welches auch die Menge des Aufschlagwassers ist; und diess ist ein Resultat von der grössten Wichtigkeit.

Es bleibt uns jetzt nur noch übrig, anzugeben, auf welche Art man die Luft in der Glocke, welche das Rad bedeckt, verdichtet.

Man bedient sich zu diesem Zwecke einer Luft-Druckpumpe, welche die Turbine selbst während der ganzen Zeit ihres Ganges in Bewegung setzt. Die Luftmengen, welche auf diese Weise fortwährend in die Glocke geführt werden, ersetzen die Verluste, welche von den etwa vorhandenen Ritzen und Spalten, sowie davon herrühren, dass das Wasser stets etwas Luft mit sich fortreisst; ausserdem liefert die Pumpe immer einen Ueberschuss an Luft, welcher unter dem Rande der Glocke entweicht, sodass man sicher ist, dass das Niveau des Wassers zunächst der Turbine immer in der Höhe dieses Randes steht.

Girard hat vorgeschlagen, dasselbe System auch auf die Wasserräder mit horizontaler Axe anzuwenden, um das zu tiefe Eintauchen derselben zu Zeiten von Hochwasser zu vermeiden.

§. 405. **Allgemeine Betrachtungen über die Anlage eines Wasserrads.** — Wenn man, um die Kraft eines Wassergefälles nutzbar zu machen, ein Wasserrad anlegen will, so muss man vor Allem unter den verschiedenen Arten dieser Räder dasjenige herauswählen, welches den Umständen, unter denen es aufgestellt werden soll, am besten entspricht. Bei dieser Wahl sind es Momente von verschiedener Natur, welche in Betracht gezogen werden müssen: Die grössere oder geringere Einfachheit des Rades, sowie der baulichen Einrichtungen, welche seine Anlage erfordert; die Leichtigkeit der Vornahme von Reparaturen, welche von Zeit zu Zeit an Maschinen dieser Art zu machen sind; die Natur des Gefälles und die Aenderungen, welche dessen Kraft in den verschiedenen Jahreszeiten erfährt; die grössere oder geringere Sorgfalt, welche man darauf verwenden muss, den grösstmöglichsten Theil der Kraft dieses Gefälls nutzbar zu machen. Diess sind die wichtigsten Motive, welche dazu führen können, dieses oder jenes System der hydraulischen Motoren anzuwenden.

Wenn man seine Wahl getroffen hat, so weiss man auch, welcher Bruchtheil des Totaleffekts des Gefälles durch das Rad, welches man anwenden will, nutzbar gemacht wird. Dieser ist z. B. 0,75, wenn es sich um ein Zellenrad oder um eine Turbine handelt, oder 0,56 bei einem unterschlächtigen Rade mit krummen Schaufeln, oder nur 0,25 bei einem unterschlächtigen Rade mit ebenen Schaufeln.

Man kann also, nachdem man die Totalleistung einer Wasserkraft kennen gelernt hat, die Zahl der Pferdekräfte berechnen, welche das Wasserrad gibt, und darnach die Zahl und Dimensionen der von der Kraftmaschine zu treibenden Arbeitsmaschinen, wie z. B. der Pumpen, die das Wasser auf eine gewisse Höhe heben

sollen, oder der Mahlgänge einer Mühle, oder der Spinn- und Webmaschinen etc., einrichten. Zu diesem Zweck muss man die Menge der Arbeit, welche an jeder dieser verschiedenen Arbeitsmaschinen durch eine Pferdekraft ausgeführt werden kann, aus Erfahrung wissen.

Die Höhe des Gefälls und die Natur des Rades, welches man angenommen hat, bestimmen die Zahl der Umdrehungen, welche dieses Rad in einer gegebenen Zeit machen muss, damit man den Maximaleffekt erhält. Man muss folglich zwischen der Welle des Rades und den Mechanismen, welche es bewegen soll, eine solche Verbindung herstellen, dass sich diese Mechanismen mit derjenigen Geschwindigkeit, welche für die Arbeit, die sie auszuführen haben, am günstigsten ist, bewegen, wenn das Rad diejenige Bewegung besitzt, bei welcher sein Wirkungsgrad der grösstmöglichste ist. Man bedient sich zu diesem Zwecke der Verzahnungen (§. 64) oder der Riemen ohne Ende (§. 63).

Nach der Geschwindigkeit endlich, welche das Rad annehmen muss, und nach der Menge des Aufschlagwassers, welches ihm das Gefäll in einer gegebenen Zeit liefert, bestimmt man die Dimensionen der Schaufeln oder Zellen, auf welche die Flüssigkeit wirken soll.

Wenn das Rad construirt und aufgestellt ist, und wenn man es mit den Maschinen, welche es bewegen soll, in Verbindung gesetzt hat, so handelt es sich nur noch darum, die Schützen, welche dem Aufschlagwasser aus dem oberen Bette herabzufliessen gestatten, zu öffnen, damit jenes seine Wirkung auf das Rad ausüben und dasselbe in Bewegung setzen kann. Es ist klar, dass, je nachdem man dem Rade eine grössere und grössere Menge Wasser zufliessen lässt, die Bewegung desselben immer schneller und schneller wird. Man begreift also, dass man ihm auf diese Weise die Geschwindigkeit geben kann, welche seinem Maximaleffekt entspricht; und wenn die Versuche, auf welche man die Anlage des ganzen Etablissements gegründet hat, richtig und genau waren, so muss auf diese Weise genau die Wassermenge verbraucht werden, welche das Gefälle ohne Unterbrechung zu liefern im Stande ist.

§. 406. **Einfach wirkende Wassersäulenmaschine.** — In den meisten Fällen bedient man sich der Wasserräder, um die Kraft eines Wassergefälles nutzbar zu machen; indessen gibt es auch Ausnahmszustände, in welchen man zu anderen Mitteln seine Zuflucht nimmt. Wenn man ein Gefäll von sehr grosser Höhe zur Verfügung hat, das nur eine geringe Menge Wasser liefert, so kann man dieses Gefälle benützen, um einen Kolben, der sich in einem Cylinder bewegt, eine hin- und hergehende Bewegung zu geben; und indem man dann diese hin- und hergehende Bewegung auf

verschiedene Mechanismen überträgt, erzeugt sie eine gewisse Menge Nutzarbeit.

Die Kraftmaschinen, bei welchen auf diese Weise die Kraft des Wassers auf einem Kolben wirkt, welcher sich in Folge dieser Wirkung bald in dem einen, bald in dem entgegengesetzten Sinne bewegt, werden mit dem Namen Wassersäulenmaschinen bezeichnet. Eine solche Maschine heisst einfach wirkend, wenn das Wasser den Kolben nur in dem einen Sinne bewegt und seine Bewegung im entgegengesetzten Sinne durch sein eigenes Gewicht oder durch das Gewicht verschiedener Stücke, welche mit ihm verbunden sind, hervorgebracht wird; doppelt wirkend heisst die Maschine dagegen, wenn das Wasser fortwährend auf den Kolben wirkt, sowohl bei seinem Hin - als auch bei seinem Hergang.

Wir nehmen als Beispiel für die einfach wirkenden Wassersäulenmaschinen die schöne Maschine von Juncker, welche in dem Bergwerke von Huelgoat in der Bretagne aufgestellt ist. Die Fig. 512 gibt einen Durchschnitt derselben, welcher alle Einzelnheiten ihrer Einrichtung zeigt. Ein Kolben A befindet sich in einem Cylinder BB, welchen er in seiner ganzen Länge durchlaufen kann. Dieser Cylinder ist oben offen und unten geschlossen; die Kolbenstange geht luft- und wasserdicht durch den Boden des Cylinders nach abwärts. Das Wasser, welches die Maschine bewegen, und das zu diesem Behufe mit dem aus der Höhe des Gefälles entspringenden Druck auf den Kolben A wirken soll, wird durch eine Röhre C zugeführt, welche aus dem oberen Reservoir kommt und in der Maschine selbst endigt. Eine Oeffnung D, die unten an dem Cylinder BB angebracht ist, gestattet dem Aufschlagwasser in diesen Cylinder zu dringen, seinen Druck auf den Kolben A auszuüben und ihn im Cylinder in die Höhe steigen zu machen. Dieselbe Oeffnung lässt hierauf das im Cylinder BB enthaltene Wasser wieder ausfliessen und gestattet auf diese Weise dem Kolben A wieder abwärts zu gehen, wenn man ihre Verbindung mit der Röhre C unterbricht und sie frei mit der atmosphärischen Luft communiciren lässt.

Damit folglich der Kolben A in dem Cylinder BB eine hin- und hergehende Bewegung annehmen kann, muss die Oeffnung D abwechselnd mit der Einfallröhre C des Kraftwassers und mit der Atmosphäre in Verbindung gesetzt werden; dieses Geschäft verrichtet der Steuerungsapparat, welchen man zur Linken des Cylinders BB sieht. Dieser Apparat besteht im Wesentlichen aus zwei Kolben E,F, die an dem nämlichen Stabe befestigt sind und sich miteinander in dem Cylinder, welcher sie enthält, bewegen können.

Diese beiden Kolben haben in der Fig. 512 die tiefste Stellung, welche sie einnehmen können; die Fig. 513 dagegen, welche den

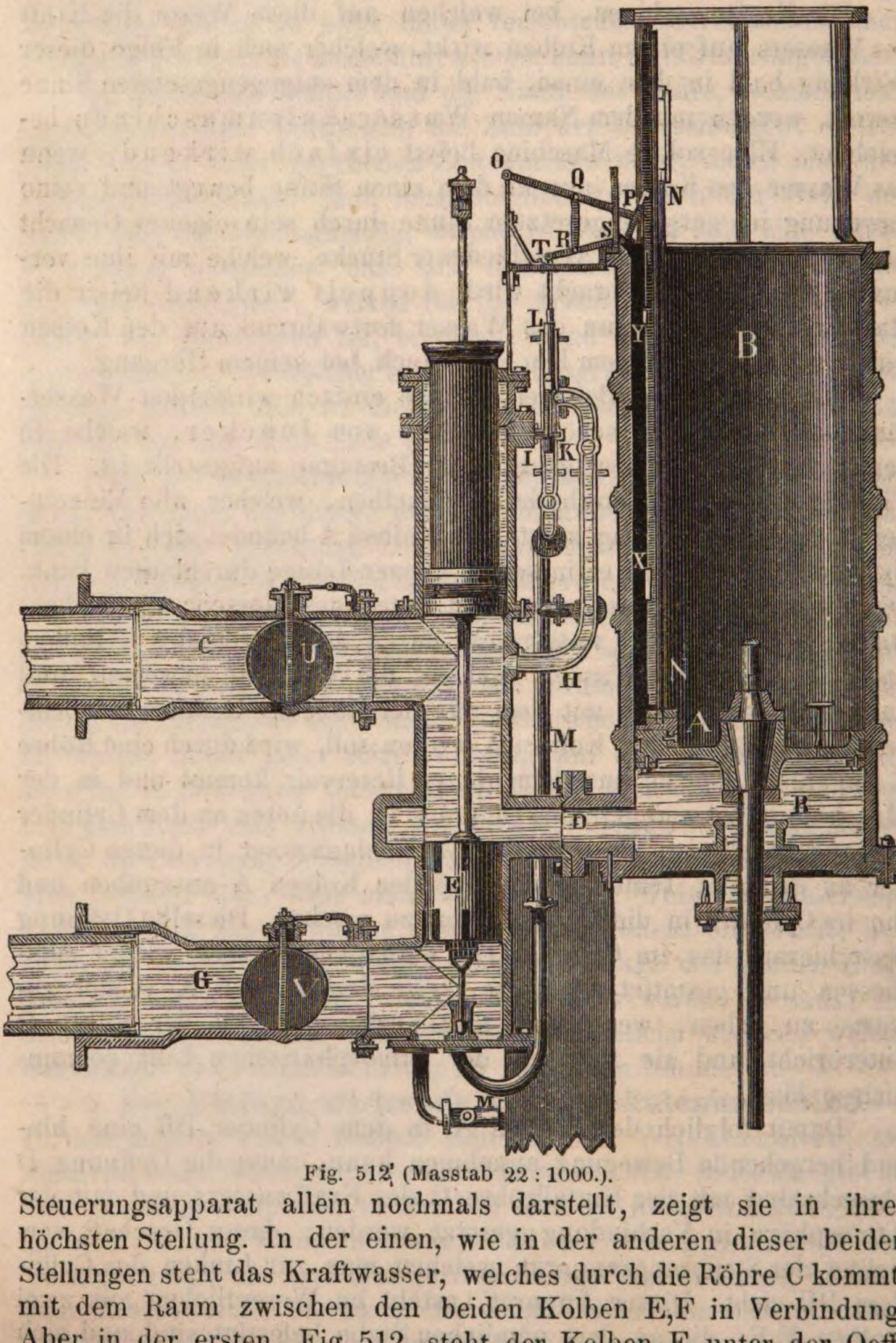


Fig. 512. (Masstab 22 : 1000.).

Steuerungsapparat allein nochmals darstellt, zeigt sie in ihrer höchsten Stellung. In der einen, wie in der anderen dieser beiden Stellungen steht das Kraftwasser, welches durch die Röhre C kommt, mit dem Raum zwischen den beiden Kolben E,F in Verbindung. Aber in der ersten, Fig. 512, steht der Kolben E unter der Oeffnung D, und das Kraftwasser kann folglich auf den Kolben A

drücken und ihn emporsteigen machen; während in der zweiten, Fig. 513, der Kolben E den Durchgang des Kraftwassers unterbricht, und dagegen dem Wasser, welches beim Emporsteigen des Kolbens unter denselben gelangt ist, gestattet, durch das Austragrohr G auszufliessen und den Kolben wieder niedergehen zu lassen. Es bleibt uns also noch übrig, zu zeigen, wie die beiden Kolben E,F eine hin- und hergehende Bewegung erhalten, in Folge deren die Oeffnung D abwechselnd mit dem Rohre C und mit dem Rohre G in Verbindung gesetzt wird.

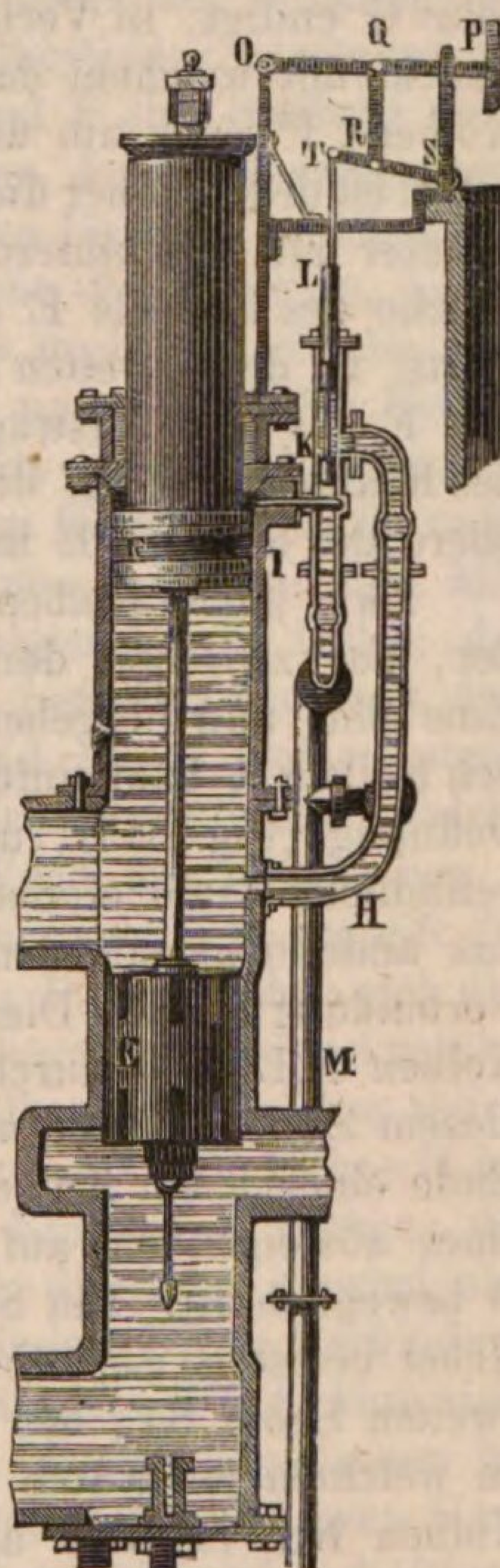


Fig. 513.

Der Durchmesser des Kolbens F ist etwas grösser als der des Kolbens E; das Aufschlagwasser, das in den Raum zwischen beiden Kolben immer freien Zutritt hat, übt folglich auf die untere Fläche des ersteren einen grösseren Druck aus als auf die obere Fläche des zweiten; in Folge dessen suchen die beiden Kolben mit einer Kraft gleich der Differenz zwischen diesen beiden Drückungen fortwährend in die Höhe zu steigen. Diess geschieht in der That, so lange keine andere Wirkung zu der, welche wir soeben bezeichnet haben, hinzukommt, und auf diese Weise gehen die Kolben E,F aus der in Fig. 512 gezeichneten Lage in die der Fig. 513 über. Um die entgegengesetzte Bewegung hervorzubringen, hat man an dem Cylinder, in welchem sich die beiden Kolben E,F bewegen, eine kleine Röhre H angebracht, welche sich aufwärts biegt, und durch die kleine Oeffnung I mit dem Raum über dem Kolben F communicirt. Indem das Kraftwasser diese soeben bezeichneten Kanäle durchdringt, drückt es oben auf den Kolben F, und damit der so hervorgebrachte Druck nicht zu gross wird, hat man den Kolben F mit einem sich nach oben erstreckenden hohlen Cylinder versehen, der mittelst einer Stopfbüchse durch den Deckel des Steuerungscylinders hindurchgeht, sodass das durch die Oeffnung I zugeführte Wasser nur auf die ringförmige Fläche, welche diesen hohlen Cylinder umgibt, drücken kann. Ein besonderer Mechanismus, von dem wir sogleich sprechen werden, setzt

die Oeffnung I abwechselnd mit der Röhre H, welche das Aufschlagwasser zuführt, und mit der Röhre MM, welche in dem Austragrohr G endigt, in Verbindung. In dem ersten Fall überwiegt der Druck, mit welchem das Aufschlagwasser auf die obere Fläche des Kolbens F rings um den hohlen Cylinder, mit welchem dieser versehen ist drückt, über die Resultante der Drückungen, welche dasselbe Wasser auf die untere Fläche des Kolbens F und auf die obere Fläche des Kolbens E ausübt; die beiden Kolben steigen also abwärts. In dem zweiten Fall communicirt das Wasser über dem Kolben F mit dem Austragrohr G, und der Unterschied des Druckes des Kraftwassers auf die untere Fläche des Kolbens F und auf die obere des Kolbens E hebt diese beiden Kolben wieder in die Höhe.

Zwei kleine Kolben K,L befinden sich in einem kleinen Cylinder, der zwischen der Röhre H und der Oeffnung I gelegen ist. Eine hin- und hergehende Bewegung dieser beiden Kolben führt den Kolben K bald unter die Oeffnung I (Fig. 512), bald über diese Oeffnung (Fig. 513), und dadurch wird der über dem Kolben F befindliche Raum einmal mit dem Kraftwasser durch die Röhre H, das anderemal mit dem Austragrohr G durch den Kanal MM in Verbindung gesetzt. Diese hin- und hergehende Bewegung der kleinen Kolben K,L wird durch den Kolben A selbst hervorgebracht. Zu diesem Zwecke ist er mit einem Stabe NN versehen, welcher am Ende eines jeden Kolbenschubes, eines aufsteigenden sowohl als eines absteigenden, auf einen Hebel OP wirkt, der um den Punkt O beweglich ist. Ein Stab QR, der in dem Punkte Q an diesem Hebel befestigt ist, überträgt die Bewegung desselben auf einen zweiten Hebel ST, der sich um den Punkt S bewegen kann, und an welchem jener Stab in R festgemacht ist. Die Stange der beiden Kolben K,L ist in T an dem Ende dieses letzteren Hebels ST befestigt. Der Hebel OP endigt sich in einem Bogen P, welcher an seinen Enden zwei kleine Daumen trägt. Ausserdem ist der Stab NN, welcher mit dem Kolben steigt und fällt, mit zwei kleinen Ansätzen X,Y versehen, von denen der eine auf seiner vorderen, der andere auf seiner hinteren Seite festgemacht ist. Diese Ansätze begegnen, jeder zu seiner Zeit, einem der Daumen des Bogens P und setzen auf diese Weise die beiden Hebel OP, ST und die Kolben K,L in Bewegung.

Die Fig. 512 zeigt die Maschine in der Lage, welche die verschiedenen Stücke einnehmen, wenn der Kolben A unter der Wirkung des Kraftwassers in die Höhe steigt; die Kolben K und L nehmen ihre tiefste Stellung ein; das Aufschlagwasser steht durch die Röhre H und die Oeffnung I mit dem Raum über dem Kolben F

in Verbindung; es drückt folglich auf die obere Fläche dieses Kolbens und hält so die beiden Kolben E,F gleichfalls in ihrer tiefsten Stellung; der Treibkolben A steht also unter der Wirkung der Wassersäule, die bei C und D in den Treibcylinder hereinkommt, und erhebt sich, so lange die Kolben E und F ihre Stellung nicht ändern. Wenn aber der Kolben A nahe an das Ende seines Aufganges kommt, so ergreift der Ansatz X den Daumen, welchen das obere Ende des Bogens P trägt, und erhebt diesen Bogen, indem er ihn und den Hebel OP um den Punkt O dreht; zu gleicher Zeit dreht sich der Hebel ST um den Punkt S und die beiden Kolben K,L werden in ihre oberste Stellung geführt (Fig. 513). Von dem Augenblick an erfährt das Wasser über dem Kolben F nicht mehr den Druck des Aufschlagwassers, weil es nun mit der Röhre MM in Verbindung steht; die Kolben E,F steigen in die Höhe; das Wasser, welches sich unter dem Kolben A befindet, wird mit dem Austragrohr G in Verbindung gesetzt, und dieser Kolben steigt nun in Folge seines Gewichtes und des Gewichtes der Stücke, welche mit ihm in Verbindung stehen, abwärts. Wenn der Treibkolben A nahe am Ende seines Niederganges angekommen ist, so ergreift der Ansatz Y den unteren Daumen des Bogens P, und indem sich dieser senkt, wird der Hebel OP in seine frühere Lage zurückgeführt (Fig. 512); zu gleicher Zeit kehren die Kolben K,L in ihre tiefste Stellung zurück; das Aufschlagwasser kann durch die Röhre H bei I eintreten und auf die obere Fläche des Kolbens F wirken; dadurch senken sich die beiden Kolben E,F; die Röhre C wird also von Neuem mit dem unteren Theil des Cylinders BB in Verbindung gesetzt, der Treibkolben A steigt wieder aufwärts u. s. f. Man sieht also, dass die Maschine von der Zeit an, wo sie angefangen hat sich zu bewegen, ihre Steuerung selbst besorgt und ihren Gang fortsetzt, ohne dass man nöthig hätte sich mit ihr zu beschäftigen.

Um den Gang der Maschine reguliren zu können, hat man in den Röhren C,G zwei Drosselventile U,V angebracht. Indem man diese Ventile in passendem Sinne mehr oder weniger dreht, bringt man Verengungen hervor, welche den Gang des Kolbens A, sowohl bei seinem Auf- als auch bei seinem Niedergang, verzögern (§. 322), und man kann es auf diese Weise dahin bringen, dass er eine beliebige Geschwindigkeit annimmt. Die Stellungen, welche man den Ansätzen X,Y an dem Stabe NN gibt, reguliren ausserdem die Länge des Kolbenschubes. Um die Maschine zum Stehen zu bringen, darf man nur die beiden Hähne, von denen der eine in der Röhre H, der andere in der Röhre MM angebracht ist, schliessen; durch diese einfache Manipulation bringt man es dahin,

dass die Kolben E,F weder auf- noch abwärts gehen können; sie bleiben in dem Moment, wo diese beiden Hähne geschlossen werden, an der Stelle, wo sie sich befinden, stehen. Man kann sich sogar leicht überzeugen, dass dazu das Schliessen eines einzigen dieser Hähne hinreicht. Wenn man, nachdem die Maschine längere oder kürzere Zeit still gestanden war, die Hähne, welche man geschlossen hatte, wieder öffnet, so kommt die Maschine von selbst wieder in Gang und setzt ihre Bewegung von dem Punkt an, wo sie unterbrochen wurde, wieder fort.

Die Einschnitte, welche man oben und unten an dem Kolben E angebracht sieht, und die, in der Richtung seiner Längenaxe gehend, sich allmälig verlaufen, haben den Zweck zu verhindern, dass die Verbindung der Oeffnung D mit der Röhre C des Aufschlagwassers, sowie mit dem Austragrohr G zu plötzlich hergestellt und wieder unterbrochen wird, wodurch allemal Stösse entstehen müssten und die Maschine schnell unbrauchbar gemacht werden würde. Wenn der Kolben E vor der Oeffnung D vorbeigeht, indem er sich senkt, so beginnt das Aufschlagwasser mit dieser Oeffnung durch die oberen Einschnitte zu communiciren. Der Durchgang, welcher auf diese Weise dem Aufschlagwasser geboten ist, vergrössert sich allmälig, da die Tiefe der Einschnitte von ihrem Ursprung an bis zur Basis des Kolbens zunimmt: die Verbindung des Aufschlagwassers mit der Oeffnung D stellt sich also nach und nach her, bis endlich diese Oeffnung vollständig frei geworden ist. Ebenso ist diess bei der Herstellung der Verbindung der Oeffnung D mit dem Austragrohr, wenn der Kolben E wieder aufwärts geht.

Wenn der Kolben E vor der Oeffnung D vorbeigeht, so erfährt er von Seite des Wassers, welches in derselben enthalten ist, eine starke Seitenpressung. Damit dieser Druck, mit welchem der Kolben E an den Wänden des Cylinders, in welchem er sich bewegt, angepresst wird, nicht zu gross wird, wodurch eine bedeutende Reibung hervorgebracht werden würde, weitet man diesen Cylinder ringsum in gleicher Höhe mit der Oeffnung D aus. Auf diese Art umgibt das in D enthaltene Wasser den Kolben E ringsum und übt folglich seinen Druck auf den ganzen Umfang des Kolbens aus; derselbe wird also weder auf der einen noch auf der anderen Seite an die Wände des Cylinders, in welchem er sich befindet, angedrückt; er bewegt sich ohne an diesen Wänden mehr Reibung zu erfahren, als wenn er dem Drucke, von dem wir sprechen, gar nicht ausgesetzt wäre.

In den Bleiminen von Huelgoat sind zwei solche Maschinen wie die, welche wir soeben beschrieben haben, nebeneinander auf-

gestellt. Sie werden durch ein Wassergefälle von 60 Meter Höhe bewegt. Der Treibkolben A einer jeden von ihnen ist mit einer langen Stange verbunden, welche durch den Boden des Cylinders BB hindurch geht und in einem Schachte vertikal abwärts steigt, um eine Pumpe in Bewegung zu setzen. Diese Pumpe hebt das Wasser des Schachtes in einem Strahl bis auf eine Höhe von 230 Meter. Das Wasser wird in die Steigröhre hineingedrückt und auf diese bedeutende Höhe emporgetrieben, wenn der Kolben A in dem Cylinder BB steigt. Während dieser Treibkolben mit der langen Stange, welche ihn mit dem Kolben der Pumpe verbindet, wieder abwärts geht, hat er keinen Nutzwiderstand zu überwinden; desshalb muss man besondere Mittel anwenden, um die Gewichte von allen abwärts gehenden Maschinentheilen zum grössten Theil in's Gleichgewicht zu setzen und dadurch zu verhindern, dass sie bei ihrem Niedergang eine zu rasche Bewegung annehmen, wodurch grosse Nachtheile hervorgebracht werden könnten. Anstatt den Cylinder BB in gleicher Höhe mit dem Stollen, durch welchen sich das von der Pumpe gelieferte Wasser sowohl, als auch das des Austragrohrs G ergiessen muss, aufzustellen, hat man ihn 14 Meter unter diesem Stollen angebracht. Die Höhe der Kraftwassersäule wird also dadurch auf 74 Meter erhöht. Aber das Aufschlagwasser kann, nachdem es den Treibkolben A in die Höhe gehoben hat, beim Abwärtsgehen desselben nur dadurch aus dem Cylinder BB geschafft werden, dass es in dem Austragrohr G wieder auf eine Höhe von 14 Meter gehoben wird. Diese Erhebung des Wassers, nachdem es in der Maschine seine Wirkung gethan hat, bildet einen Widerstand, welchen der Treibkolben beim Abwärtsgehen zu überwinden hat, und welcher so berechnet ist, dass die Bewegung desselben genügend ermässigt wird. Der auf diese Weise hervorgebrachte Widerstand ist aber nicht mit einem solchen zu vergleichen, der wie derjenige, welcher durch ein Drosselventil hervorgebracht wird, das den Durchgang des Wassers mehr oder weniger verengt, einen Theil der bewegenden Kraft aufzehrt, ohne irgend einen Nutzen zu bringen; seine Anwendung hat, wie wir gesehen haben, eine entsprechende Erhöhung der Kraftwassersäule zur Folge.

Die schönen Maschinen von Huelgoat, die einen vollkommen sanften und regelmässigen Gang haben, machen nahezu zwei Drittel der durch das Gefäll entwickelten Bewegungsarbeit nutzbar.

§. 407. **Doppelt wirkende Wassersäulenmaschine.** — Die Einrichtung der doppelt wirkenden Wassersäulenmaschine hat viel Aehnlichkeit mit derjenigen der einfach wirkenden. Ein wesentlicher Unterschied besteht nur darin, dass sich der Kolben A (Fig. 514)

in einem an beiden Enden geschlossenen Cylinder BB bewegt, und dass die Steuerungsvorrichtung, anstatt abwechselnd das Einfallrohr

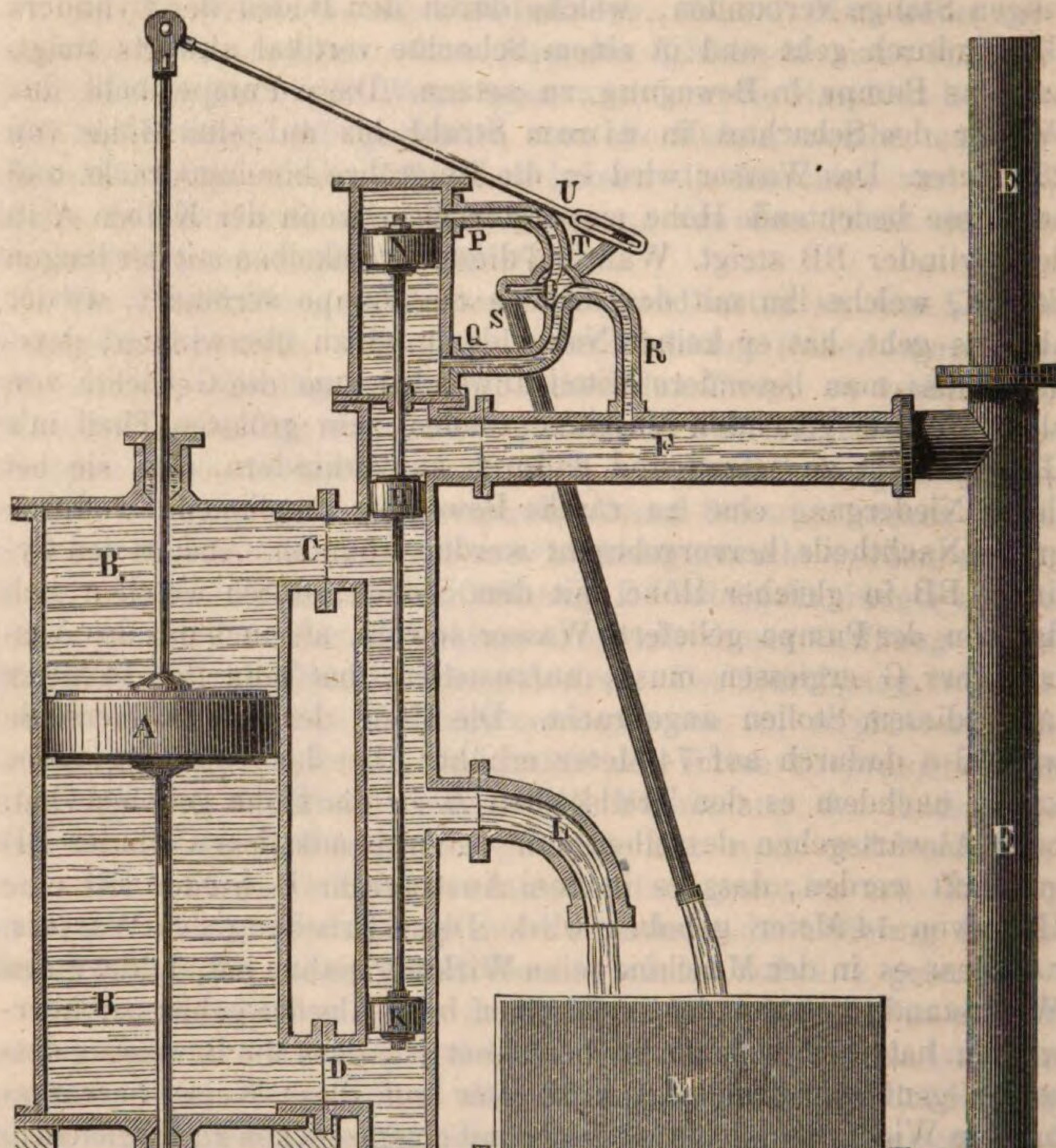


Fig. 514.

des Kraftwassers und dann wieder das Austragrohr mit dem unteren Theil des Treibcylinders zu verbinden, diese Verbindungen abwechselnd mit dem oberen und dann mit dem unteren Theil dieses Cylinders durch die Oeffnungen C und D herstellen muss. Das Kraftwasser kommt durch die vertikale Röhre E bei der Maschine an. Diese Röhre verzweigt sich in die beiden Röhren F und G, von denen die erste das Wasser nach der Oeffnung C führt, während die zweite es nach der Oeffnung D leitet. Zwei Kolben, H

und K, die an ein und derselben Stange befestigt sind, können sich in einem kleinen Cylinder, der zur Seite des Hauptcylinders BB angebracht ist, bewegen. In der in der Figur dargestellten Stellung dieser beiden Kolben gelangt das Kraftwasser durch die Röhre G und die Oeffnung D in den unteren Theil des Cylinders BB; es übt also auf die untere Fläche des Kolbens A einen Druck aus, welcher von unten nach oben gerichtet ist. Zu gleicher Zeit communicirt das Wasser, welches über dem Kolben A steht, frei durch die Oeffnung C mit dem Austragrohr L. Da also der Kolben A auf seiner unteren Fläche einem grösseren Druck ausgesetzt ist als auf seiner oberen, so nimmt er eine aufsteigende Bewegung an; das Wasser über dem Kolben fliesst durch die Röhre L aus und fällt in einen Behälter M, der mit dem Kanal in Verbindung steht, welcher das ausgediente Wasser abzuführen hat. Denken wir uns nun, dass in dem Augenblick, wo der Kolben A das oberste Ende des Cylinders BB erreicht hat, die beiden Kolben H,K sich senken, sodass sie sich bezüglich unter die Oeffnungen C,D stellen; alsdann communicirt die Oeffnung C durch die Röhre F mit dem Kraftwasser, während die Oeffnung D mit dem Austragrohr L in Verbindung steht: der Kolben A geht also abwärts, indem er alles Wasser, das sich unter ihm befindet, durch jenes Austragrohr ausfliessen macht. Wenn die Kolben H,K, nachdem der Treibkolben A ganz unten angekommen ist, ihre ursprüngliche Lage wieder einnehmen, so wirkt das Kraftwasser durch die Oeffnung D wieder von unten auf den Kolben A und treibt ihn in die Höhe u. s. f.

Man sieht also, dass man, um die Verbindung der Oeffnungen C,D abwechselnd mit dem Einfallrohr E des Kraftwassers und mit dem Austragrohr L herzustellen, es nur dahin bringen darf, dass die beiden Kolben H,K sich senken, wenn der Treibkolben A oben angekommen ist, und dass sie dagegen in die Höhe steigen, wenn derselbe an den tiefsten Punkt seines Schubes gelangt. Diese hin- und hergehende, intermittirende Bewegung der Kolben H,K wird mittelst eines Kolbens N hervorgebracht, der am Ende der gemeinschaftlichen Stange jener beiden Kolben befestigt ist und sich in einem besonderen Cylinder bewegen kann, der über dem liegt, in welchem sich die Kolben H,K befinden. Ein Hahn O, der zwei verschiedene Stellungen annehmen kann, verbindet mittelst der beiden Röhren P und Q abwechselnd den oberen und dann wieder den unteren Theil dieses kleinen Cylinders entweder mit dem Kraftwasser, oder mit der freien Luft. In der in der Figur gezeichneten Stellung dieses Hahnes strömt das Kraftwasser, welches frei in der Röhre F ankommt, durch die Röhren R und Q und drückt den Kolben N

von unten nach oben, während das Wasser über diesem Kolben durch die Röhre S, die sich über dem Behälter M endigt, mit der freien Luft in Verbindung ist. Wenn der Hahn O um 90 Grad gedreht wird, so nimmt er die in Fig. 515 gezeichnete Stellung ein, und die Verbindungen sind nun umgekehrt; das Kraftwasser wirkt, indem es durch die Röhren R und P strömt, auf die obere Fläche des Kolbens N, und das Wasser unter diesem Kolben communicirt durch die Röhren Q und S mit der freien Luft; dadurch geht der Kolben N abwärts und mit ihm die beiden Steuerkolben H,K. Der Hahn O ist an einem seiner Enden mit einer Kurbel T versehen, deren Zapfen durch das verlängerte Oehr hindurchgeht, in welchem sich eine Lenkstange U endigt, die an einer Verlängerung der Stange des Treibkolbens A befestigt ist. So lange sich der Kurbelzapfen zwischen den Enden des Oehrs befindet, bewegt sich der Kolben A, ohne den Hahn O im geringsten zu drehen; die Lenkstange U wirkt auf die Kurbel T nur dann, wenn der Kolben A nahe daran ist, das eine oder andere Ende seines Schubes zu erreichen. Daraus ist leicht einzusehen, dass die Maschine wieder sich selbst steuert, und dass sie auf diese Weise beliebig lange in Gang bleiben kann, ohne dass man nöthig hätte, sich mit ihr zu beschäftigen, vorausgesetzt, dass das Aufschlagwasser ungehindert durch die Röhre E zuströmt und immer im Stande ist, die an dem Kolben A wirkenden Widerstände zu überwinden.

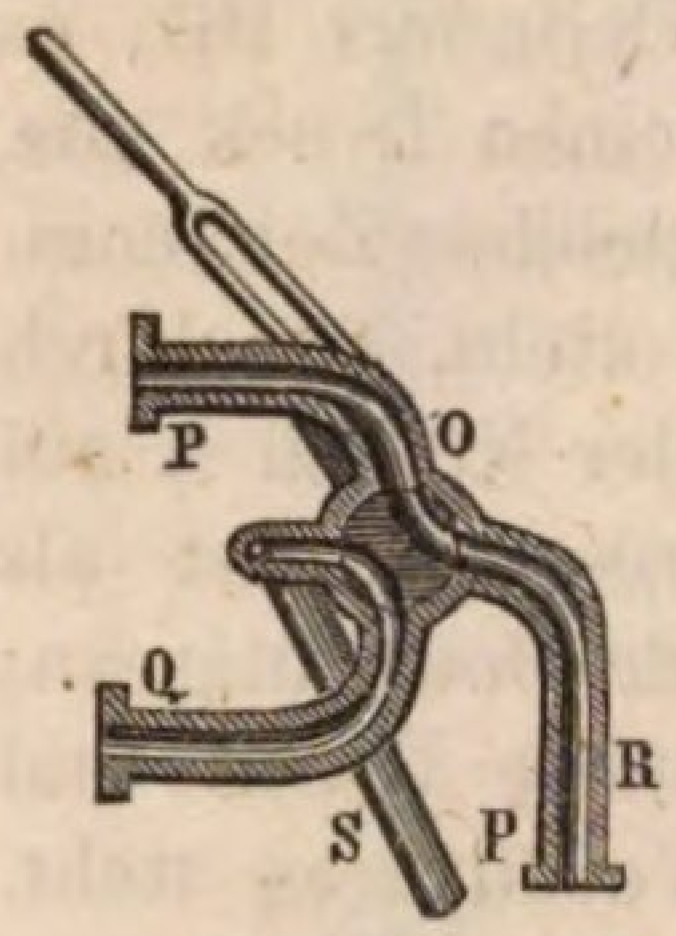


Fig. 515.

Die doppelt wirkende Wassersäulenmaschine kann zur Bewegung aller Arten von Arbeitsmaschinen verwandt werden; zu dem Ende darf man nur die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens A in eine drehende Bewegung einer Welle verwandeln; wie das geschehen kann, werden wir später (§. 442 und 451), wenn wir von den Dampfmaschinen handeln, ausführlich besprechen. In diesem Fall kann dann auch die Steuerung etwas verändert werden: man kann an der Welle, welche die Maschine in Drehung versetzt, eine Excentrik anbringen, die den Kolben H,K direkt die hin- und hergehende Bewegung ertheilt, welche dieselben annehmen müssen, um das Aufschlagwasser bald in dem einen, bald in dem andern Sinne wirken zu machen. Wir werden später, bei Gelegenheit der Dampfmaschinen (§. 442), ausführlicher beschreiben, wie diese Excentriks eingerichtet sind: für jetzt begnügen wir uns damit, ihre Anwendung bei den Wassersäulenmaschinen blos anzugeben.

In der Regel werden die Wassersäulenmaschinen dazu angewandt, um Wasser auf eine bedeutende Höhe zu heben. So wird z. B. die Soole von Reichenhall in Oberbayern auf Umwegen 30 Stunden weit nach Rosenheim geleitet, um hier, sowie auch an einigen Zwischenorten, z. B. in Traunstein, versotten zu werden. Auf diesem Wege befinden sich 9, sämmtlich von Reichenbach construirte Wassersäulenmaschinen, welche die Soole über die Berge heben.

§. 408. **Der hydraulische Widder.** — Wir haben oben (§. 391) gesagt, dass das Wasser eines Gefälles manchmal auch direkt, ohne Zwischenmaschine, wirkt, um eine Nutzarbeit hervorzubringen: ein interessantes Beispiel hievon wollen wir nun in dem hydraulischen Widder kennen lernen. Diese sinnreiche Maschine, die von Montgolfier im Jahre 1796 erfunden wurde, hat den Zweck, die Kraft eines Wassergefälles zn benützen, um einen Theil des durch dasselbe gelieferten Wassers auf ein Niveau zu heben, das über dem Spiegel des Oberwassers gelegen ist.

Denken wir uns, dass das Wasser des Gefälles, welches man zur Verfügung hat, nur durch eine Röhre von gewisser Länge, welche sich im unteren Bette endigt, ausfliessen könne. Wenn diese Röhre an ihrem unteren Ende geöffnet ist, so ergiesst sich das Wasser aus derselben, indem es eine Geschwindigkeit annimmt, welche von der Höhe des Gefälls und von der Reibung, die durch seine Bewegung in der Röhre hervorgerufen wird, zugleich abhängt. Wenn der Ausfluss auf diese Weise hergestellt ist, und man verschliesst mit einem mal die Oeffnung der Röhre, so wird alles in ihr enthaltene Wasser gezwungen plötzlich stille zu stehen; aber das kann nicht geschehen, ohne dass diese Wassermasse einen bedeutenden Druck auf die Wände, welche sie einschliessen, ausübt. Denken wir uns nun, dass auf die Ausflussröhre, von welcher wir eben gesprochen haben, eine Steigröhre aufgesetzt sei, und dass das untere Ende dieser Steigröhre durch ein Ventil geschlossen werde, das sich von unten nach oben öffnet. In dem Augenblicke, wo die in Bewegung befindliche Wassersäule plötzlich zum Stillstand gebracht wird, öffnet sie dieses Ventil und stürtzt sich in die Steigröhre, wo es bis zu einer gewissen Höhe emporsteigt. Wenn man dann die Bewegung des Wassers in der Ausflussröhre von Neuem beginnen lässt und es hierauf wieder plötzlich zum Stehen bringt, indem man die Ausflussöffnung der Röhre verschliesst, so öffnet die Flüssigkeit von Neuem das Ventil der Steigröhre, um theilweise in diese Röhre überzugehen, sodass das Niveau in derselben noch höher steigt. Indem man auf diese Weise dieselbe Operation wiederholt, kann man das Wasser in der Steigröhre auf eine bedeutend

grössere Höhe, als die des Gefälls beträgt, emporheben; wenn folglich diese Röhre oben in einem Reservoir endigt, so kann man dasselbe anfüllen, wenn man nur die Manipulation, die wir soeben beschrieben haben, lange genug fortsetzt. Diess ist das Prinzip des hydraulischen Widders. Sehen wir nun, welche Einrichtung ihm von Montgolfier gegeben wurde, und wie er in Folge derselben ganz für sich selbst in Thätigkeit bleibt, ohne dass man nöthig hätte, sich mit ihm zu beschäftigen.

Die Fig. 516 ist ein Durchschnitt eines hydraulischen Widders, welcher sich im Schlosse Celle-Saint-Cloud bei Paris befindet,

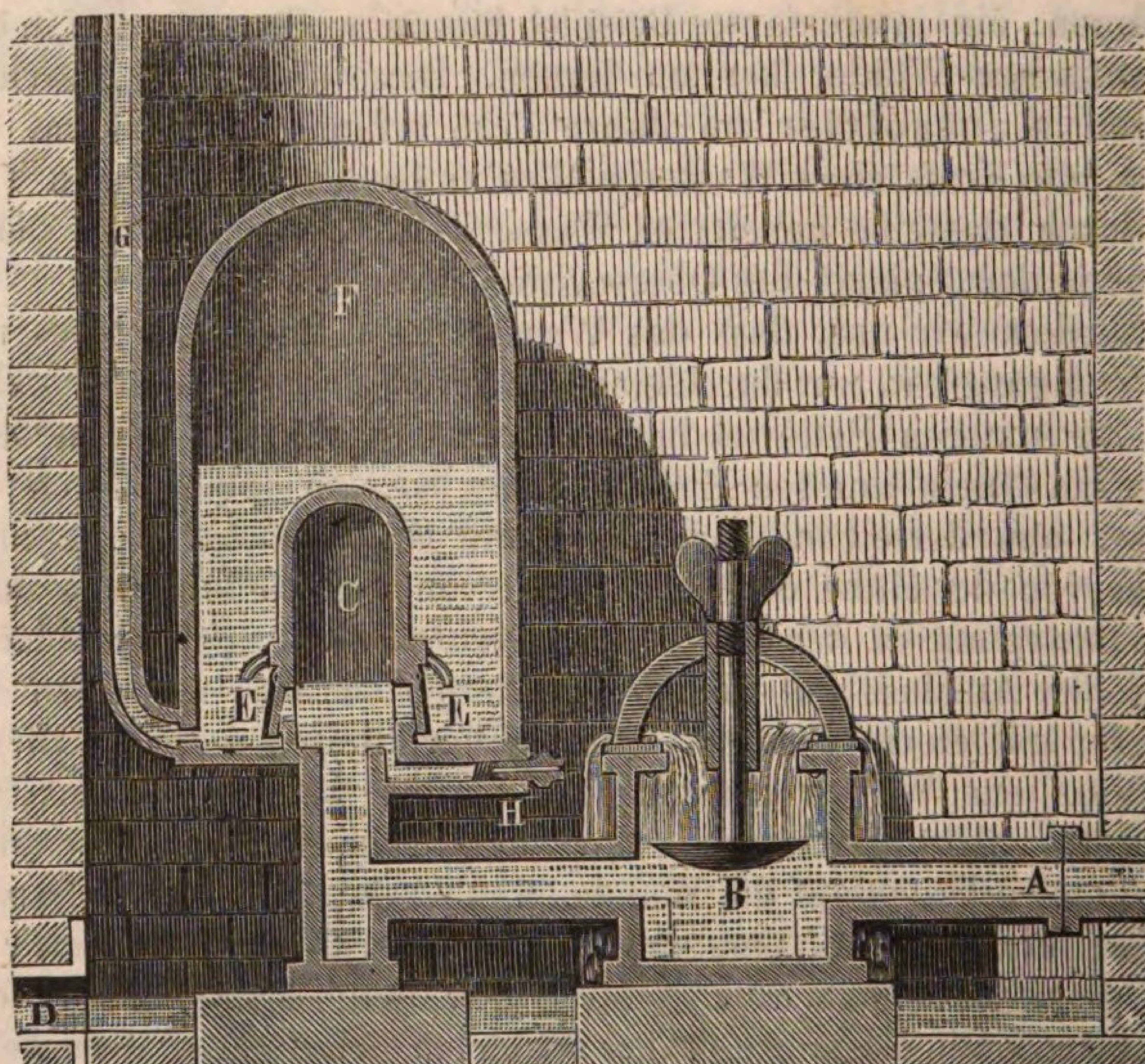


Fig. 516 (Masstab 12 : 100.).

und der von Montgolfier selbst zu dem Zwecke angelegt wurde, um das im Schlosse erforderliche Wasser in die Höhe zu heben. Das Wasser eines hochgelegenen Teiches, der durch Quellen gespeist wird, wird durch die Röhre A herabgeleitet. Diese Röhre besitzt eine nach oben gekehrte Oeffnung, durch welche sich das Wasser ergiesst. Ein Ventil B ist an seinem Stabe an einer Art von Bügel aufgehängt, der sich mitten über dieser Oeffnung befindet; das ausfliessende Wasser muss also rings um dieses Ventil, wenn es geöffnet ist, herumgehen, um durch die Oeffnung in's Freie gelangen zu können. Von dem Augenblick an, wo der Ausfluss

beginnt, wird die Geschwindigkeit des Wassers immer grösser und grösser; daraus folgt dass das Ventil B von Seiten der Flüssigkeit einen immer grösser werdenden Druck erfährt; dieser Druck reicht aber bald hin, um das Ventil zu heben, und dieses legt sich gegen die Ränder der Ausflussöffnung und verschliesst dieselbe vollständig. Sobald diess aber geschehen ist, muss die ganze in der Röhre A enthaltene Wassermasse, die eine ziemlich grosse Geschwindigkeit besitzt, plötzlich stillstehen und übt dadurch einen sehr bedeutenden Druck auf alle Theile der Wände, welche sie umschliessen, aus; dieser Druck öffnet die Ventile E,E, und eine gewisse Menge Wasser dringt durch diese Ventile in einen Behälter F, welcher dieselben umschliesst, und gelangt von da aus in die Steigröhre G. Nach Verfluss einer sehr kurzen Zeit ist die ganze Geschwindigkeit des in der Röhre A enthaltenen Wassers vernichtet; die Ventile E,E schliessen sich; das Ventil B, welches an seiner inneren Fläche keinen so grossen Druck mehr erfährt, fällt in Folge seines Gewichts in seine ursprüngliche Lage zurück, und das Spiel der Maschine beginnt von Neuem wie vorhin. Das Wasser, welches während der ganzen Zeit, in welcher das Ventil B geöffnet ist, aus der Röhre A ausfliesst, fällt auf den umgebenden Boden herab und wird durch den Kanal D abgeführt.

Die Röhre A erhebt sich an ihrem linken Ende, um sich in einem Raum C zu endigen, an welchem unten die Ventile E,E angebracht sind. Dieser Raum enthält in seinem oberen Theile Luft. Der Druck dieser Luft spielt eine wichtige Rolle in dem Gang der Maschine. Wenn der Ausfluss des Wassers durch Verschluss des Ventils B plötzlich gehemmt wird, und es stünde die Flüssigkeit überall nur mit festen Wänden in Berührung, so würde ein ziemlich heftiger Stoss hervorgebracht werden. Die in C enthaltene Luft verhütet diesen Stoss fast vollständig, wodurch nicht nur der Apparat mehr geschont, sondern ausserdem auch eine grössere Menge von Nutzarbeit producirt wird. Von dem Augenblick an, wo das Wasser bei B nicht mehr ausfliessen kann, presst es die Luft in C zusammen und verliert so nach und nach seine Geschwindigkeit; zu gleicher Zeit vergrössert sich der vom Wasser nach allen Seiten hin ausgeübte Druck. Wenn aber die Geschwindigkeit des Wassers vollständig Null geworden ist, so übt die Luft in C, da sie ihr ursprüngliches Volumen wieder einzunehmen sucht, eine Rückwirkung aus; sie drückt das Wasser wieder in die Röhre A zurück, und der Druck nimmt allmälig ab. Während dieser Zeit bleiben die Ventile E,E offen, so lange der Druck, welchen sie von innen nach aussen erfahren, denjenigen, welcher fortwährend auf ihre

äussere Seite ausgeübt wird, übersteigt, und gewähren so einem Theil des Wassers freien Durchgang. Die rückgängige Bewegung, welche das Wasser in der Röhre A annimmt, und welche durch die Reaction der in C enthaltenen Luft hervorgebracht wird, hört noch nicht sogleich auf, wenn auch der Druck des Wassers schon auf denjenigen zurückgekehrt ist, welcher allein aus der Höhe des Gefälls entspringt; das Wasser fährt in Folge der gewonnenen Geschwindigkeit fort sich rückwärts zu bewegen; in Folge dessen vermindert sich der Druck noch weiter und kommt selbst unter den der atmosphärischen Luft herab. Durch diese Art von Saugen fällt das Ventil B herab, und das Wasser beginnt von Neuem durch die darüber befindliche Oeffnung auszufliessen.

Der Behälter F, welcher die Ventile E,E umschliesst, und aus welchem sich die Steigröhre G erhebt, enthält in seinem oberen Theile gleichfalls Luft. Diese zweite Luftmasse hat den Zweck, das Wasser in der Steigröhre in stetiger Bewegung zu erhalten, und wirkt genau auf dieselbe Art wie diejenige, welche in dem Windkessel der Feuerspritzen (§. 374) enthalten ist. In dem Moment, wo sich die Ventile E,E öffnen, dringt das Wasser in den Behälter F ein, indem es die Luft, welche darin enthalten ist, zusammendrückt; es ist also nicht genöthigt, sich unmittelbar in die Steigröhre zu stürzen, wie es ohne diese Einrichtung der Fall sein würde. Es ist klar, dass der zur Oeffnung der Ventile E,E nöthige Druck viel grösser sein müsste in dem Fall, wo in dem Moment, wo sie sich öffnen, die ganze Wassersäule in der Steigröhre plötzlich aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung übergeführt werden müsste, und dass in Folge dessen diese Ventile bei jedem Stoss des Widders auch nur kürzere Zeit geöffnet bleiben würden. Die Weglassung der in F enthaltenen Luft würde also eine bedeutende Verminderung in der Menge des gehobenen Wassers zur Folge haben.

Das Wasser absorbirt immer eine gewisse Menge Luft, mit welcher es in Berührung steht. Diese absorbirte Luft ist es, welche aus dem Wasser, wenn man es in einem offenen Gefäss erwärmt, wieder entweicht und sich zum Theil an den Wänden des Gefässes in Form von kleinen Bläschen anhängt. Die Menge Luft, welche das Wasser auf diese Weise absorbirt, ist um so grösser, je stärker der Druck ist, mit welchem die Luft über ihm lastet. Daraus folgt, dass die Luft in dem Reservoir F nach und nach von dem Wasser, welches fortwährend darin ankommt, und über welchem sie mit einem Drucke, der der Höhe der Wassersäule in der Steigröhre entspricht, lastet, absorbirt wird. Diese Luft nimmt daher allmälig ab und kann sogar vollständig verschwinden, wenn man nicht ein

besonderes Mittel anwendet, um sie wieder zu erneuern. Aus diesem Grunde bringt man unter einem der Ventile E,E eine horizontale Oeffnung H an. Diese Oeffnung ist durch ein Ventil geschlossen, das sich von aussen nach innen öffnet. In dem Moment, wo durch die rückgängige Bewegung des Wassers in der Röhre A in dieser Röhre eine Art Saugen hervorgebracht wird, dringt eine kleine Menge Luft durch den Kanal H, dessen Ventil sie öffnet, ein und vermischt sich mit der Luft, welche bereits in C enthalten ist. Das Eindringen dieser kleinen Menge Luft bei jedem Stoss des Widders verursacht, dass ein entsprechender Theil Luft des Reservoirs C die Ventile E, E, wenn sie geöffnet sind, durchdringt und in dem oberen Theil des Behälters F emporsteigt, um dort diejenige wieder zu ersetzen, welche das Wasser fortwährend mit sich fortführt.

Der Wirkungsgrad eines gut gebauten hydraulischen Widders kann sich bis auf 0,60 erheben.

Maschinen, welche zur Bewegung der Gase dienen.

§. 409. Es kommen viele Fälle vor, wo man Gase mittelst Anwendung gewisser Maschinen in Bewegung zu setzen hat. Bald handelt es sich darum, einen grösseren oder geringeren Theil des Gases, welches in einem geschlossenen Raume enthalten ist, aus diesem Raume heraus zu schaffen; bald soll im Gegentheil eine grössere Menge Gas in einem solchen Raum angesammelt werden; wieder ein andermal hat man der Luft eine grosse Geschwindigkeit mitzutheilen und sie eine Strecke weit mit derselben fortzubewegen, sei es nun, um die Verbrennung in irgend einer Feuerungsanlage zu unterhalten, sei es, um Staub und dergleichen kleine Körperchen mit ihr fortreissen zu lassen; endlich hat man auch noch zur Lüftung der Bergwerke die Luft in den Stollen und Schichten derselben in Bewegung zu versetzen u. s. w. Wir wollen uns nun mit den Einrichtungen der verschiedenen Maschinen, welche angewandt werden, um diese verschiedenen Zwecke zu erreichen, näher bekannt machen.

Welches aber auch der Zweck sein möge, welchem eine solche Maschine dienen soll, so muss sie doch immer so eingerichtet sein, dass das Gas, welches sie in Bewegung setzt, in der Maschine selbst nur eine geringe Geschwindigkeit besitzt, da ausserdem eine sehr beträchtliche Reibung hervorgebracht werden könnte. Ausserdem muss man scharfe Krümmungen und bedeutende Verengungen in

den Kanälen, in welchen sich das Gas bewegen soll, so viel als möglich zu vermeiden suchen. Wenn die Maschine blos dazu bestimmt ist, eine gewisse Gasmasse fortzuschaffen, so muss man sie so einrichten, dass das Gas, indem es sie verlässt, eine möglichst kleine Geschwindigkeit besitzt; denn die Geschwindigkeit, welche es nach seinem Austritt aus der Maschine noch hat, konnte ihm nur durch Aufwand einer gewissen Quantität von Bewegungsarbeit mitgetheilt werden. Wenn die Maschine dagegen dem Gase eine gewisse, ziemlich grosse Geschwindigkeit ertheilen soll, so muss man suchen, dass es diese Geschwindigkeit erst in der Nähe des Punktes erhält, wo der Gasstrahl seine Wirkung äussern soll, damit es sich nicht mit so grosser Geschwindigkeit in mehr oder weniger langen Röhren fortbewegen muss.

§. 410. **Die Luftpumpe.** — Die Luftpumpe, deren wir uns schon bei verschiedenen Versuchen bedient haben, hat den Zweck, einen geschlossenen Raum luftleer zu machen, d. h. die Luft, welche in demselben enthalten ist, daraus zu entfernen. Diese Maschine (Fig. 517) besteht so zu sagen aus zwei mit einander

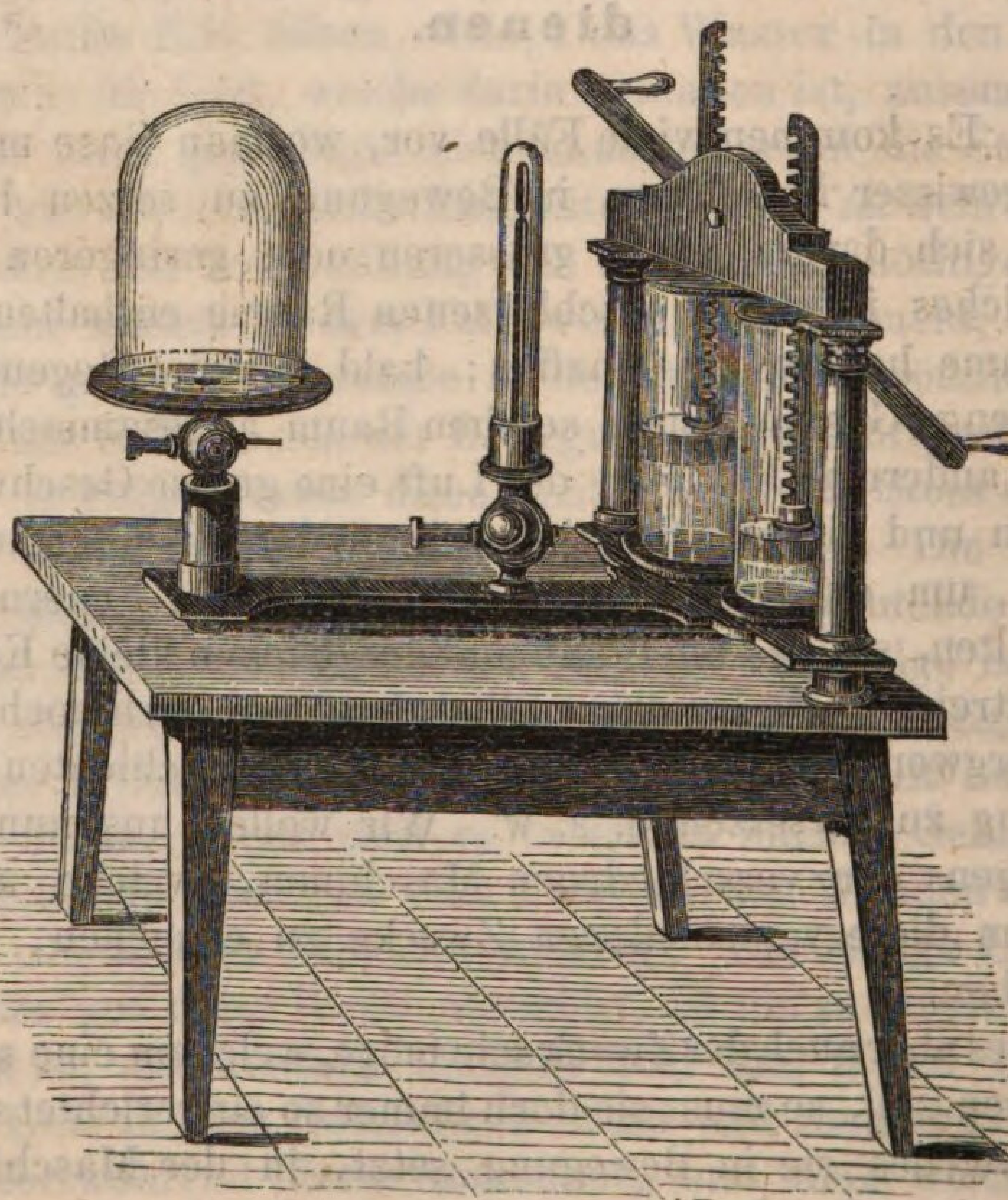


Fig. 517.

vereinigten Saugpumpen (§. 369). Die beiden Kolbenstangen sind gezahnt und greifen in ein Zahnrad, das zwischen ihnen angebracht

ist, und auf dessen Axe ein Hebel mit Handgriffen aufgesteckt wird, der eine Art doppelter Kurbel bildet. Wenn man die beiden Handgriffe fasst und dem Hebel eine geeignete, absetzende Rotationsbewegung um seine Axe ertheilt, so gibt man dadurch den beiden Kolben eine auf- und abgehende Bewegung. Um uns über die Wirkungsweise der Maschine Rechenschaft zu geben, nehmen wir zunächst an, dass die Pumpe nur einen einzigen Kolben und folglich auch nur einen einzigen Stiefel besitze.

Wenn der Kolben B (Fig. 518) in dem Pumpenstiefel A in die

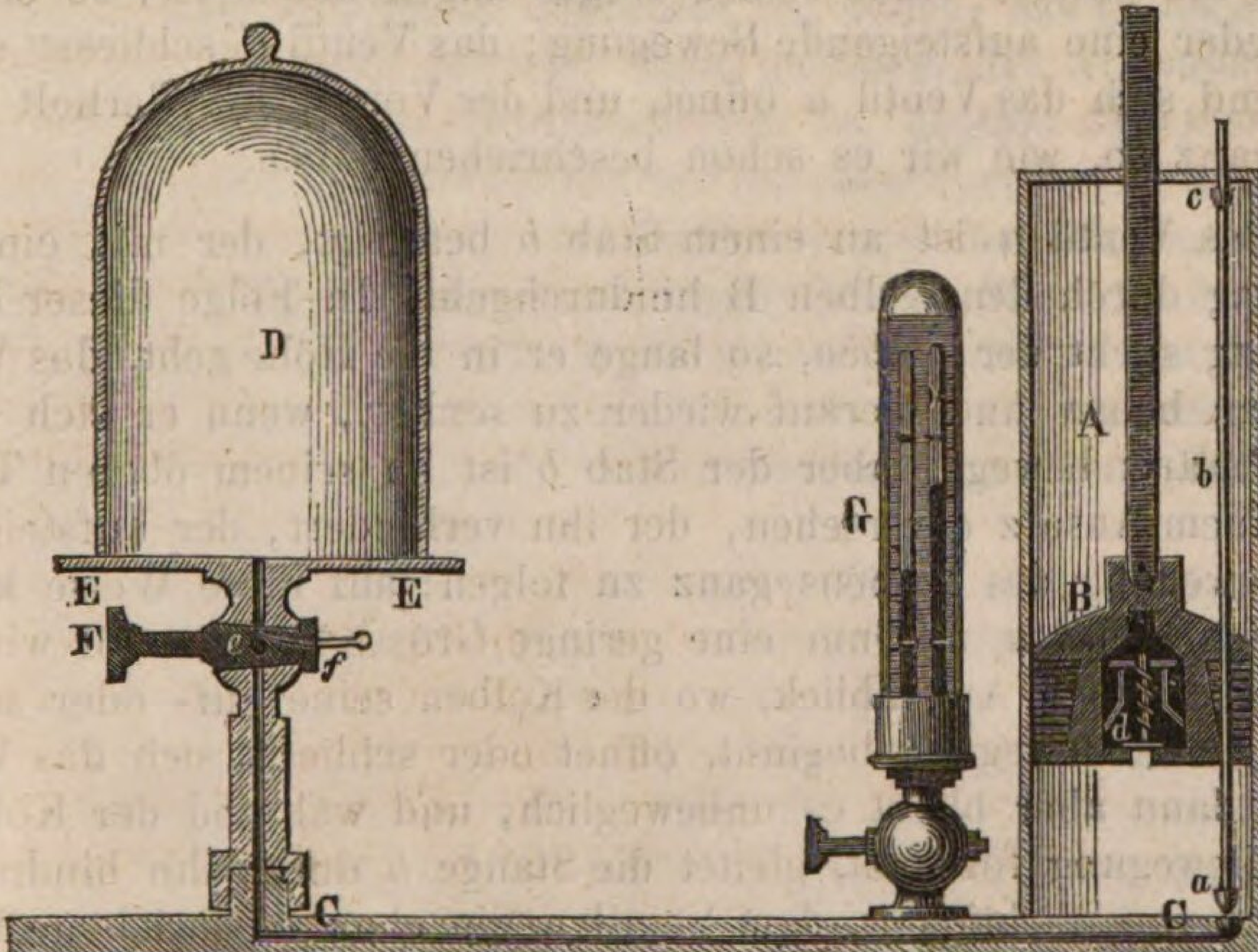


Fig. 518.

Höhe geht, so ist das Ventil *a* offen, das Ventil *d* dagegen, welches in der Oeffnung, die durch den Kolben hindurch geht, angebracht ist, geschlossen. Der untere Theil des Stiefels steht alsdann durch die Röhre CC in Verbindung mit einer Glasglocke, dem Recipienten D, deren Ränder genau luftdicht auf dem Teller EE aufschliessen, und aus der die Luft herausgepumpt werden soll; wir setzen dabei voraus, dass der Hahn F passend gedreht ist, und dass die so in Verbindung gesetzten Räume gegen die äussere Luft vollständig abgesperrt sind. Die in dem Recipienten D, in dem Kanal CC und im unteren Theil des Stiefels enthaltene Luft dehnt sich in dem Maasse als der Kolben in die Höhe geht, aus, um den ganzen Raum welcher ihr dargeboten ist, vollständig auszufüllen; ein Theil der Luft des Recipienten und des Kanals CC geht also in den Pumpenstiefel über. Wenn hierauf der Kolben abwärts geht, so schliesst sich das Ventil *a*, und die Luft, welche sich in dem Stiefel unter

dem Kolben befindet und nun nicht mehr in den Recipienten zurückkehren kann, wird mehr und mehr zusammengedrückt; ihre Spannkraft vergrössert sich also und wird bald eine solche Grösse erreichen, dass sie die der atmosphärischen Luft übertrifft; alsdann öffnet sich das Ventil *d* unter dem Drucke der unter ihm befindlichen Luft, welche zu entweichen sucht, und diese Luft durchdringt den Kolben und strömt in den oberen Theil des Stiefels, der mittelst einiger Löcher, welche in dem Deckel angebracht sind, frei mit der äusseren Luft in Verbindung steht. Wenn der Kolben auf diese Weise am unteren Ende seines Weges angekommen ist, so erhält er wieder eine aufsteigende Bewegung; das Ventil *d* schliesst sich, während sich das Ventil *a* öffnet, und der Vorgang wiederholt sich nun ganz so, wie wir es schon beschrieben haben.

Das Ventil *a* ist an einem Stab *b* befestigt, der mit einiger Reibung durch den Kolben B hindurchgeht. In Folge dieser Einrichtung sucht der Kolben, so lange er in die Höhe geht, das Ventil *a* zu heben und hierauf wieder zu senken, wenn er sich wieder abwärts bewegt; aber der Stab *b* ist an seinem oberen Theil mit einem Ansatz *c* versehen, der ihn verhindert, der aufsteigenden Bewegung des Kolbens ganz zu folgen; auf diese Weise kann sich das Ventil *a* nur um eine geringe Grösse heben und wieder senken. In dem Augenblick, wo der Kolben seine auf- oder seine absteigende Bewegung beginnt, öffnet oder schliesst sich das Ventil *a*; dann aber bleibt es unbeweglich, und während der Kolben seine Bewegung fortsetzt, gleitet die Stange *b* durch ihn hindurch. Es war von Wichtigkeit, dem Ventil *a* die eben beschriebene Einrichtung zu geben; denn gegen das Ende der Operation wird der Unterschied zwischen der Spannkraft der unter dem Kolben befindlichen Luft und der Spannkraft der Luft im Recipienten so gering, dass man nicht darauf rechnen darf, dass das Ventil durch ihn allein im passenden Moment geöffnet oder geschlossen wird.

Der Hahn F ist mit zwei Bohrungen versehen: mit einer geradlinigen *e* und mit einer krummen, die, nach auswärts gehend, mit einem Stifte *f* verschlossen werden kann. Während des Auspumpens steht die Bohrung *e* in der Richtung des vertikalen Kanals, welcher oben im Mittelpunkte des Tellers EE endigt. Wenn darauf der Recipient hinlänglich luftleer gemacht ist, so schliesst man den Hahn, indem man ihn um 90 Grad dreht, um alle Verbindung des Recipienten mit dem Kanal CC und dem Pumpenstiefel zu unterbrechen. Wenn man in der Stellung des Hahnes, wie er in der Figur gezeichnet ist, den Stift *f* herauszieht, so kann die

Luft durch die bereits erwähnte krumme Bohrung des Hahns in den Recipienten eindringen.

Mit dem Kanal CC steht gewöhnlich eine dicke, oben geschlossene Glasröhre G in Verbindung; dieselbe enthält die sogenannte Barometerprobe, eine Vorrichtung, welche dazu bestimmt ist, die Spannkraft der Luft im Kanal CC und folglich auch im Recipienten in jedem Augenblick während des Fortgangs der Operation messen zu können. Diese Barometerprobe besteht aus nichts weiter als aus einem Heberbarometer (§. 263), dessen langer, oben geschlossener Schenkel bedeutend abgekürzt ist, sodass das Quecksilber in demselben bis oben ansteht. Erst nachdem das Auspumpen bis auf einen gewissen Grad fortgeschritten ist, beginnt das Quecksilber in dem geschlossenen Schenkel der Barometerprobe zu sinken, und der Höhenunterschied der Quecksilberspiegel im offenen und geschlossenen Schenkel gibt jeden Augenblick die Spannkraft der Luft im Recipienten. Das Barometer ist abgekürzt, weil es erst dann von Interesse ist, den Druck der Luft im Innern kennen zu lernen, wenn er schon ziemlich schwach im Verhältniss zum Druck der atmosphärischen Luft geworden ist.

Es ist leicht zu sehen, auf welche Weise sich die Spannkraft der Luft im Recipienten allmälig vermindert, wenn die Pumpe in Thätigkeit gesetzt wird. Nehmen wir z. B. an, dass der Rauminhalt desjenigen Theils des Pumpenstiefels, der sich unter dem Kolben befindet, wenn derselbe seinen höchsten Stand erreicht hat, der dritte Theil von dem des Recipienten D und des Kanals CC zusammengenommen sei. Wenn der Kolben unten im Pumpenstiefel steht und sich hierauf bis zu dem obersten Punkte seines Weges erhebt, so wächst das Volumen der in dem Recipienten D und dem Kanal CC enthaltenen Luft im Verhältniss von 3 zu 4; die Spannkraft dieser Luft wird also $\frac{3}{4}$mal so gross, als sie ursprünglich war. Wenn sich hierauf der Kolben senkt, so erleidet die Spannkraft der Luft im Recipienten keine Aenderung. So hat also jeder Hub des Kolbens die Wirkung, die Spannkraft der Luft im Recipienten auf $\frac{3}{4}$ von derjenigen, welche sie vorher hatte, zu vermindern. Nach dem ersten Kolbenhub ist folglich diese Spannkraft $\frac{3}{4}$ von der der atmosphärischen Luft; nach dem zweiten ist sie blos noch $\frac{9}{16}$ davon, nach dem dritten $\frac{27}{64}$ u. s. f. Man sieht also, dass, wie viel Kolbenzüge auch gemacht werden mögen, doch immer noch Luft im Recipienten bleibt; aber die Spannkraft dieser Luft kann in dieser Hinsicht so klein gemacht werden, als man will.

Das, was wir eben gesagt haben, setzt voraus, dass jedesmal, wenn sich der Kolben bis zu seinem tiefsten Stand im Stiefel herab-

bewegt, alle Luft, die sich unter ihm befindet, gezwungen wird, das Ventil *d* zu öffnen und durch den Kolben hindurch in die atmosphärische Luft zu strömen. Aber es ist unmöglich, diese Bedingung vollständig zu befriedigen: wenn der Kolben an der tiefsten Stelle seines Weges angekommen ist, so bleibt immer noch etwas Luft unter ihm. Daraus folgt, dass bei der aufsteigenden Bewegung des Kolbens nicht so viel Luft aus dem Recipienten in den Stiefel tritt, als es ohne Dieses der Fall sein würde; denn die Luft, welche unter dem Kolben geblieben ist, dehnt sich, um sich mit dem Drucke der Luft im Recipienten in's Gleichgewicht zu setzen, aus und nimmt in Folge dessen einen beträchtlichen Raum des Pumpenstiefels ein. Der schädliche Einfluss des Umstandes, von dem wir sprechen, macht sich um so mehr fühlbar, je mehr die Spannung im Recipienten vermindert wird; es kommt wie leicht zu sehen im Verlauf des Auspumpens sogar so weit, dass jener Einfluss es ganz und gar verhindert, die Spannung noch weiter zu vermindern, sodass die Verdünnung der Luft im Recipienten nicht über eine gewisse Grenze hinausgetrieben werden kann. Man nennt desshalb den Raum, in welchem sich die Luft unter dem Stiefel befindet, wenn dieser seinen tiefsten Standpunkt einnimmt, den schädlichen Raum, und man muss bei der Construktion einer Luftpumpe besonders darauf sehen, dass derselbe so klein als möglich wird, d. h. dass sich die untere Fläche des Kolbens so dicht als möglich an den Boden des Stiefels anlegt. Es ist übrigens nicht schwer, den schädlichen Raum so klein zu machen, dass, was ihn anbetrifft, das Auspumpen sehr weit, bis auf etwa $\frac{1}{10}$ Linie Quecksilberdruck der noch im Recipienten enthaltenen Luft getrieben werden könnte. Aber bei weitem grössere Schwierigkeiten, die Verdünnung so weit zu treiben, stellen die Unvollkommenheiten der Bearbeitung der Maschine entgegen. Der Verschluss der Hähne und Ventile, der Sitz des Recipienten auf dem Teller und der Anschluss des Kolbens an dem Stiefel kann selbst bei aller möglichen Sorgfalt nie vollkommen luftdicht hergestellt werden; und der Einfluss dieser Umstände beträgt weit mehr als der des schädlichen Raumes; ihnen ist es hauptsächlich zuzuschreiben, dass die Verdünnung selbst mit den besten Pumpen noch nicht weiter als bis höchstens $\frac{1}{500}$ bis $\frac{1}{600}$ getrieben werden konnte.

Die Luftpumpe, welche im Jahre 1650 von Otto v. Guerike, Bürgermeister von Magdeburg, erfunden wurde, bestand anfangs nur aus einer einzigen Saugpumpe, wie wir sie soeben beschrieben haben. Aber das Pumpen mit derselben war sehr mühsam, besonders wenn die Verdünnung der Luft im Recipienten schon weit

vorgeschritten war, denn bei jedem Aufzuge des Kolbens ist der Druck der atmosphärischen Luft, welche auf seine obere Fläche ausgeübt und durch den viel geringeren Druck auf seine untere Fläche nur theilweise aufgehoben wird, zu überwinden. Um daher das Geschäft des Auspumpens zu erleichtern, wendet man jetzt meistens zwei Saugpumpen zugleich an, deren Kolben zu gleicher Zeit aber in entgegengesetzter Richtung mittelst eines Zahnrades, welches in ihre gleichfalls gezahnten Stangen eingreift, in Bewegung gesetzt werden (Fig. 517). Diese beiden Kolben erfahren, einer wie der andere, den Druck der atmosphärischen Luft auf ihre oberen Flächen und üben daher auf das Zahnrad zu beiden Seiten von oben nach unten Zugkräfte aus; aber diese beiden Kräfte halten sich an dem Zahnrade das Gleichgewicht, und das gleichzeitige Bewegen beider Kolben ist daher nicht schwieriger, als wenn der Druck der atmosphärischen Luft nicht auf sie wirken würde. Es sind nur noch die Widerstände zu überwinden, welche aus der Verschiedenheit der Drückungen, die von unten nach oben auf die unteren Flächen der beiden Kolben ausgeübt werden, entspringen. Die beiden Pumpenstiefel stehen mit einem gemeinschaftlichen Kanal in Verbindung, der, anfangs horizontal laufend, sich bald vertikal erhebt, um sich im Mittelpunkt des Tellers zu endigen, gerade so wie bei der einstiefeligen Pumpe.

Die Luftpumpe wird gewöhnlich dazu angewandt, Versuche verschiedener Natur anzustellen, bei welchen ein Raum von verhältnissmässig kleinen Dimensionen luftleer oder doch wenigstens beinahe luftleer gemacht werden muss. In folgendem Paragraphen wollen wir indessen ein Beispiel anführen, wo diese Maschine dazu verwandt wird, Luft aus einem Raum von bedeutender Grösse hinauszuschaffen.

§. 411. **Atmosphärische Eisenbahn.** — Der Gedanke, welche den atmosphärischen Eisenbahnen zu Grunde liegt, besteht darin, den Druck der atmosphärischen Luft anzuwenden, um die Züge auf den Eisenbahnen fortzubewegen. Wenn man sich denkt, dass auf dem Boden zwischen den beiden Schienenlagen eines Geleises eine lange Röhre liege, und dass ein Kolben, der sich in dieser Röhre bewegen kann, mit dem ersten Wagen eines Zuges verbunden sei, so reicht es hin, den Theil der Röhre, der nach der Richtung hin liegt, gegen welche die Bewegung erfolgen soll, luftleer zu machen, damit der Kolben durch den Druck der atmosphärischen Luft, welche auf seine hintere Fläche wirkt, fortgeschoben wird und den Zug nach sich zieht. Man sieht daraus, dass die Kraft, welche auf diese Weise entwickelt wird, von der Grösse der Kolben-

fläche und von dem Grade der Verdünnung der Luft im vorderen Theil der Röhre abhängt, nicht aber von der Steigung der Bahn. Dieses Mittel zur Fortbewegung der Züge, welches die Anwendung der Lokomotiven auf horizontalen oder nur wenig geneigten Bahnen, wie sie gewöhnlich gebaut werden, ersetzen kann, gestattet also ausserdem auch, sehr starke Steigungen zu befahren, auf welchen die Wirkung der Lokomotive nur sehr gering, wenn nicht ganz Null werden müsste.

Das eben beschriebene System von atmosphärischen Eisenbahnen rührt von Clegg her. Es sind nach demselben mehrere Bahnen gebaut worden. Wir führen hier als Beispiel diejenige an, welche am Ende der Bahn zwischen Paris und St. Germain angelegt ist, und welche dazu dient, die schiefe Ebene, welche an der letzteren Stadt endigt, zu ersteigen. Ungeheuere Luftpumpen, die am oberen Ende der schiefen Ebene stehen, werden durch Dampfmaschinen in Bewegung gesetzt. Die Fig. 519 zeigt den Durchschnitt einer von den vier Luftpumpen; man sieht dass dieselben doppelt wirkend sind. Die Figur ist unter der Voraussetzung gezeichnet, dass der Kolben eben in die Höhe geht; derselbe saugt durch das Ventil, welches rechts unten geöffnet ist, Luft ein und treibt zu gleicher Zeit die über ihm befindliche Luft durch das Ventil, welches links oben, im Deckel des Pumpenstiefels angebracht ist, hinaus. Wenn der Kolben abwärts geht, so schliessen sich die Ventile, welche jetzt offen sind, während sich die beiden übrigen, welche die anderen Ecken der Figur einnehmen, öffnen; der Kolben saugt folglich Luft in den oberen Theil des Stiefels, während er diejenige, die vorher in seinen unteren Theil gelangt ist, austreibt. Die beiden Röhren, von denen man in der Figur nur den Anfang sieht, und welche den beiden Ventilen zur Rechten entsprechen, communiciren mit der langen Röhre, welche zwischen den Schienensträngen des Geleises liegt, auf welchem sich die Züge bewegen sollen.

Damit der erste Wagen eines Zuges auf bleibende Weise mit dem Kolben, auf den die atmosphärische Luft wirkt, verbunden werden kann, ist es nothwendig, dass die Röhre, in welcher sich dieser Kolben bewegt, ihrer Länge nach eine Oeffnung, eine Art Spalt besitzt, durch welchen das Verbindungsstück des Wagens mit dem Kolben hindurch geht. Aber diese Oeffnung muss in dem Theil der Röhre; welchen man luftleer macht, hermetisch verschlossen sein, damit die äussere Luft nicht hineindringen und in jedem Augenblick diejenige wieder ersetzen kann, welche durch die Luftpumpen entfernt wird. Um diesen Zweck zu erreichen hat man in der ganzen Länge der Röhre eine Art Ventil angebracht, das aus

einem langen, schmalen Lederstreifen besteht, dessen einer Rand an der Röhre, neben deren Spalte, befestigt ist. Dieses Ventil wird

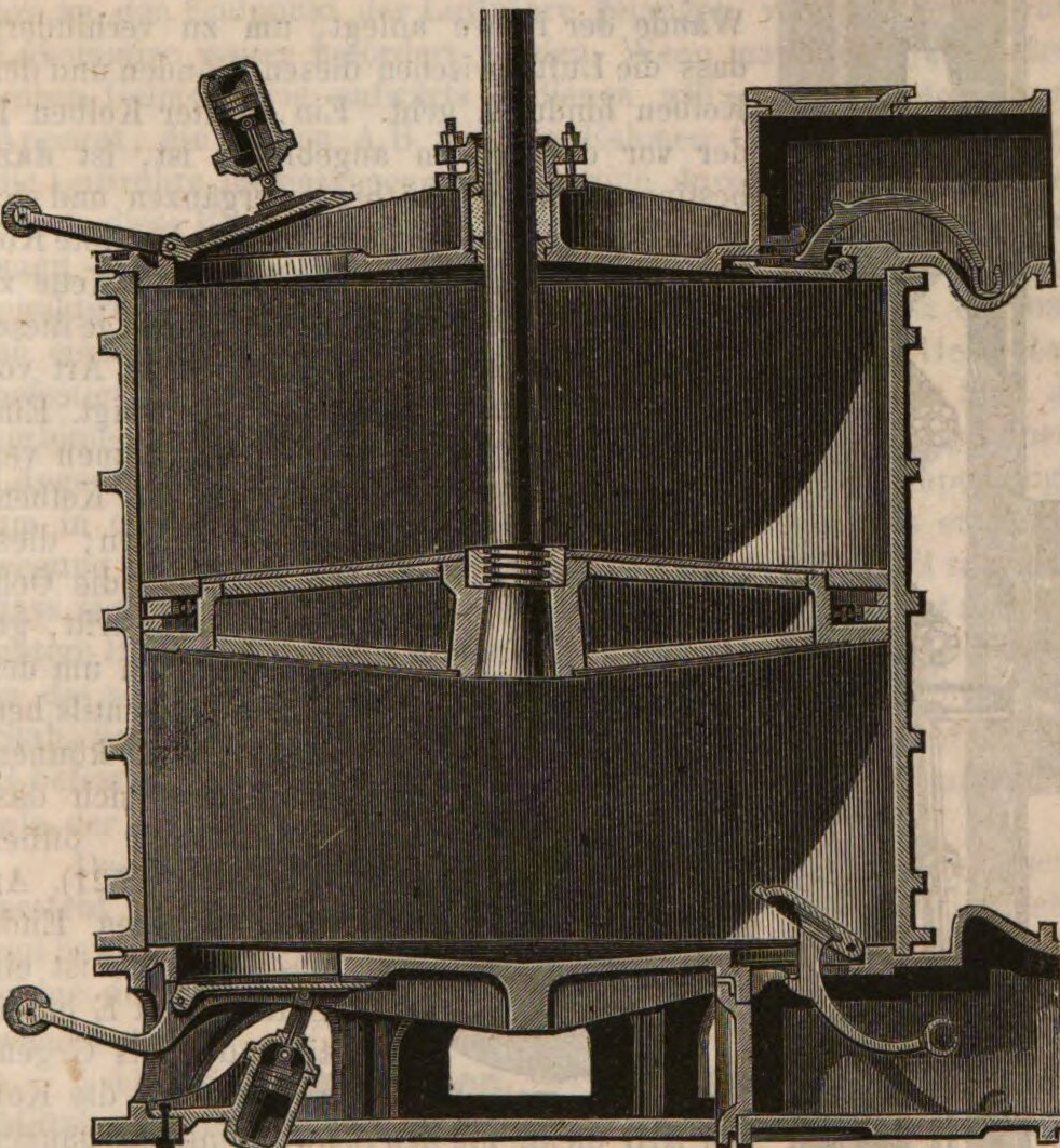


Fig. 519 (Masstab 22 : 1000).

durch Blechplatten, welche auf seiner oberen Fläche befestigt sind, versteift, behält aber in Folge dessen, dass diese Blechplatten nur klein, dagegen in grosser Anzahl vorhanden sind, nichtsdestoweniger eine gewisse Biegsamkeit. Es legt sich für gewöhnlich an die beiden Ränder des Spaltes in der Röhre an, welchen es dadurch vollständig verschliesst; aber es wird in dem Maasse, als sich der Kolben, den Zug mit sich fortziehend, in der Röhre fortbewegt, allmälig in den verschiedenen Theilen seiner Länge gehoben, um die Stücke, welche die Verbindung zwischen diesem Kolben und dem ersten Wagen herstellen, vorbeigehen zu lassen.

Die Fig. 520 zeigt den ganzen Apparat, welcher den Treibkolben bildet. Der eigentliche Kolben befindet sich bei A; er ist

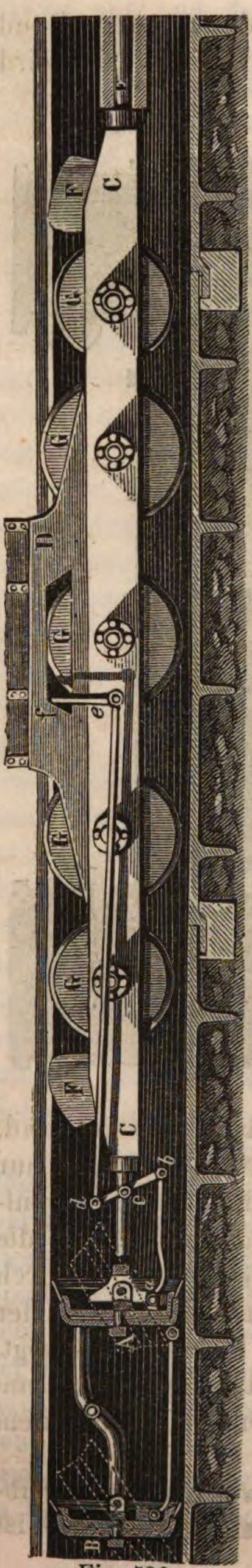


Fig. 520.

ringsum an seinem Umfange mit einem Lederstulpen gelidert, welcher sich an die inneren Wände der Röhre anlegt, um zu verhindern, dass die Luft zwischen diesen Wänden und dem Kolben hindurch geht. Ein zweiter Kolben B, der vor dem ersten angebracht ist, ist dazu bestimmt, ihn wo nöthig zu ergänzen und sich dem Durchgange der Luft, welche der erste Kolben nicht zurückhalten konnte, auf's Neue zu widersetzen. Die gemeinschaftliche Stange dieser beiden Kolben ist an dem Ende einer Art von langen und schmalen Rahmen CC befestigt. Eine Blechplatte D, welche mit diesem Rahmen verbunden ist, dient zur Verbindung des Kolbens mit dem über ihn befindlichen Wagen; diese Platte ist an der Stelle, wo sie durch die Oeffnung heraustritt, gekrümmt, um um den Rand des Ventils herumgehen zu können, ohne dass sich dasselbe ganz öffnen müsste (Fig. 521). An dem hinteren Ende des Rahmens ist ein Stück Eisen E befestigt, das als Gegengewicht für die Kolben A,B dient, um den Schwerpunkt des ganzen Apparats nahezu unter die Mitte der Blechplatte D zu bringen, von welcher er getragen wird. Der Rahmen CC trägt zwei Stücke F,F, welche den Zweck haben, das Längenventil der Röhre zu heben; fünf Friktionsrollen G,G, deren Axen gleichfalls der Rahmen CC trägt, laufen an der unteren Fläche dieses Ventils H (Fig. 521) und halten dasselbe hinreichend geöffnet, damit das Stück D ungehindert hindurchgehen kann; zu gleicher Zeit lassen sie die äussere Luft in dem Maasse, als sich der Kolben in der Röhre vorwärts bewegt, in dieselbe eindringen.

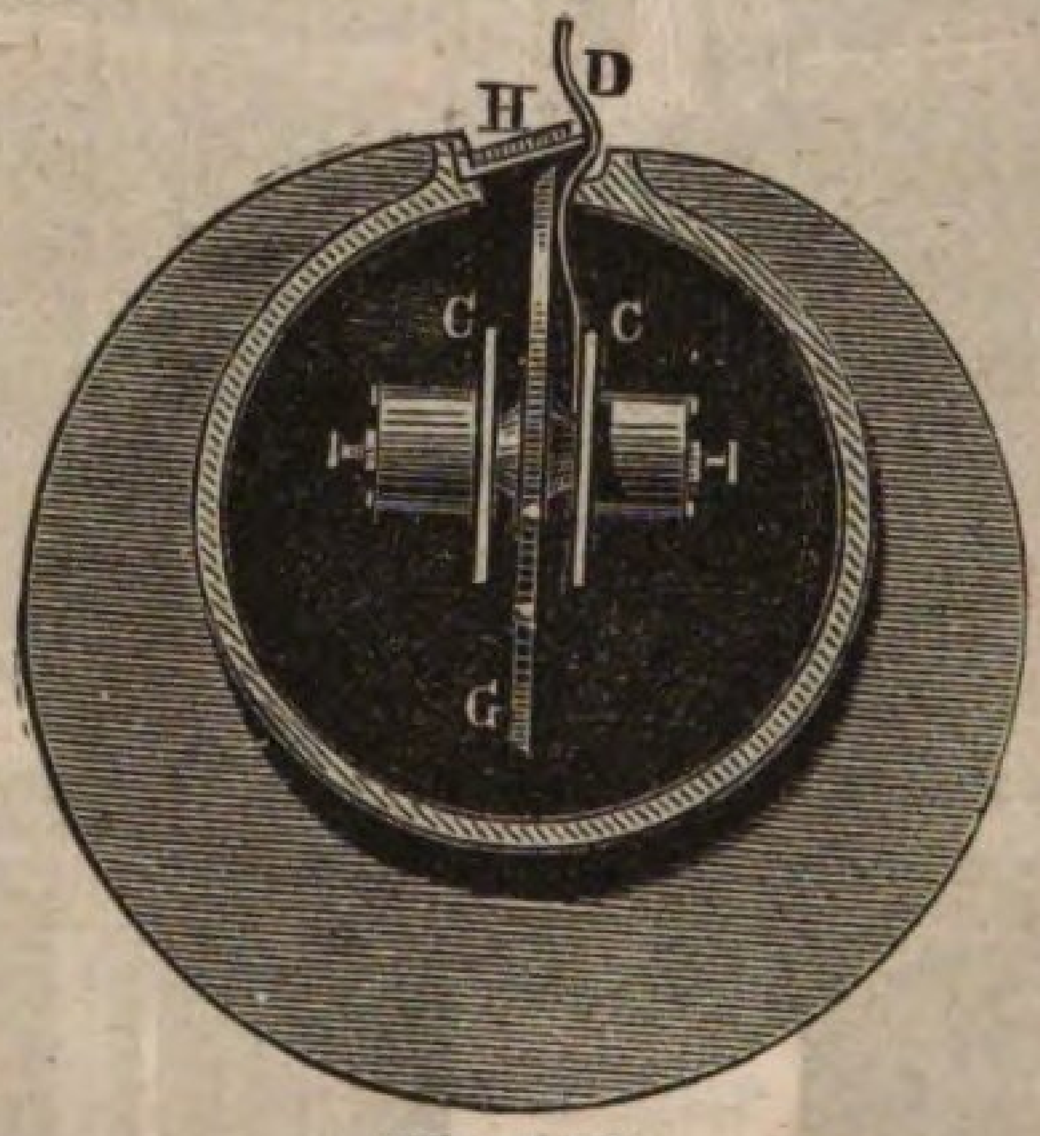


Fig. 521.

Auf der schiefen Ebene von St. Germain wendet man den Druck der Luft blos an, um

die Wägen die schiefe Ebene aufwärts zu bewegen; abwärts darf man sie nur der Wirkung ihres Gewichtes überlassen, damit sie bis an den Endpunkt der Luftröhre gelangen, von wo sie von einer Lokomotive weiter befördert werden. Wenn man sich abwärts desselben Geleises wie aufwärts bedienen will, so muss der ganze Apparat, die Kolben A,B mit dem Rahmen CC, welcher sie trägt, die Luftröhre im entgegengesetzten Sinn durchlaufen. Damit aber durch diese Bewegung keine zu grosse Reibung hervorgebracht wird, kann man die Kolben A,B umneigen und ihnen die in Fig. 520 punktirt gezeichnete Stellung geben. Zu diesem Zweck ist ein Stab *ab* einerseits an dem Kolben A, andererseits an dem Hebel *bcd* befestigt, der um den Punkt *c* beweglich ist; ein zweiter Stab *de* verbindet den Hebel *bcd* mit einem Hebel *ef*, welcher das geöffnete Längenventil durchdringt und längs der Blechplatte D emporsteigt, um in dem ersten Wagen zu endigen, von welchem aus er in Bewegung gesetzt werden kann. Indem man auf diesen Hebel so wirkt, dass sich sein unteres Ende *e* nach rechts bewegt, drückt man die untere Hälfte des Kolbens A nach links und bringt so diesen Kolben in die schiefe Stellung, von der wir soeben gesprochen haben. Ein Stab, der einerseits an dem Kolben A, andererseits an dem Kolben B befestigt ist, veranlasst den zweiten Kolben sich ebenso zu stellen wie der erste.

Das Eisenbahnsystem, welches wir soeben beschrieben haben, besteht seit mehreren Jahren bei St. Germain und hat sich sehr gut bewährt; aber es ist ausserordentlich kostspielig und kann nur in Folge der dort bestehenden Ausnahmszustände mit Vortheil angewendet werden.

§. 412. **Saugmaschinen.** — Wir haben oben (§. 279) ein Mittel angegeben, durch welches eine künstliche Lüftung der Bergwerke hervorgebracht wird, und welches darin besteht, dass man oben in einem Schachte Feuer anmacht, um durch die dadurch hervorgebrachte Temperaturdifferenz einen Luftstrom hervorzubringen. Aber man bedient sich zu demselben Zweck auch besonderer Maschinen, die dazu bestimmt sind, die Luft im Innern eines Bergwerkes in Bewegung zu setzen.

Damit eine Erneuerung der inneren Luft stattfinden kann, ist es nothwendig, dass der zu lüftende unterirdische Raum durch zwei verschiedene Kanäle mit der äusseren Luft communicirt, sei es nun durch zwei besondere Schächte, sei es durch zwei Theile eines und desselben Schachtes, welche man durch eine Scheidewand, welche sich seiner ganzen Tiefe nach erstreckt, von einander isolirt hat. Die Bewegung, welche hervorgebracht werden soll,

hat zum Zweck, die atmosphärische Luft in einem der beiden Schächte, vorausgesetzt, dass deren zwei vorhanden sind, niedersteigen zu machen, sie hierauf durch die verschiedenen Theile des Bergwerks, welches gelüftet werden soll, hindurch zu führen, um sie endlich zu veranlassen, durch den anderen Schacht wieder aufwärts zu steigen. Um diesen Zweck zu erreichen, wendet man häufig Saugmaschinen an, welche man an der Mündung des Schachtes, durch welchen die innere Luft ausströmen soll, aufstellt; es sind diese Maschinen nichts anderes als Luftpumpen, nur mit dem Unterschiede, dass sie eine grosse Menge Luft aus dem Schachte heraufziehen, dagegen nur eine geringe Verdünnung derselben hervorbringen sollen. In dem Maasse, als die Maschine arbeitet, kommt die Luft des Bergwerkes in Bewegung, um den luftverdünnten Raum welchen jene herzustellen sucht, immer wieder auszufüllen; und daraus folgt eine fortwährende Circulation der Luft.

Diese Saugmaschinen besitzen im Wesentlichen dieselbe Einrichtung wie die Luftpumpen. Sie bestehen aus weiten, oben offenen Cylindern, in deren Boden mit Ventilen versehene Oeffnungen angebracht sind, und in welchen sich Kolben bewegen, die gleichfalls von Oeffnungen mit Ventilen durchdrungen werden. Wir wollen hier indessen eine etwas andere Einrichtung angeben, die namentlich in den Bergwerken des Harzes häufig angewandt wird und den Zweck hat, die Reibung des Kolbens an den Wänden des Cylinders fast vollständig zu vermeiden. Zwei cylindrische Glocken A,A′ (Fig. 522) sind mittelst der Ketten C,C′ an den beiden Enden eines Balanciers B aufgehängt. Durch die oscillirende Bewegung des Balanciers wird jede der beiden Glocken, welche in Kufen, die mit Wasser gefüllt sind, eintauchen, abwechselnd gehoben und gesenkt. Inmitten jeder dieser Kufen erheben sich zwei Röhren D,D′ bis über die Oberfläche des Wassers, während sie an ihrem unteren Theile mit einem Kanale E in Verbindung stehen, durch welchen die Luft aus dem Bergwerk gesaugt werden soll; die obere Oeffnung jeder dieser Röhren ist durch ein Ventil geschlossen, das sich von unten nach oben öffnet. Ausserdem besitzen die Glocken A,A′ oben Oeffnungen, die mit Ventilen versehen sind, welche sich in demselben Sinne öffnen. Wenn eine der Glocken, A, sich hebt, so schliesst sich ihr Ventil, und die Luft der Grube strömt durch die Röhre D, deren Ventil geöffnet ist, in diese Glocke. Wenn sich hierauf diese Glocke senkt, so schliesst sich das Ventil der Röhre D, dasjenige der Glocke öffnet sich, und die in ihr enthaltene Luft wird in's Freie geschafft. Die Oberfläche des Wassers steht in der

Glocke und ausserhalb derselben nicht in gleicher Höhe, da die Spannkraft der in der Glocke enthaltenen Luft bald grösser, bald

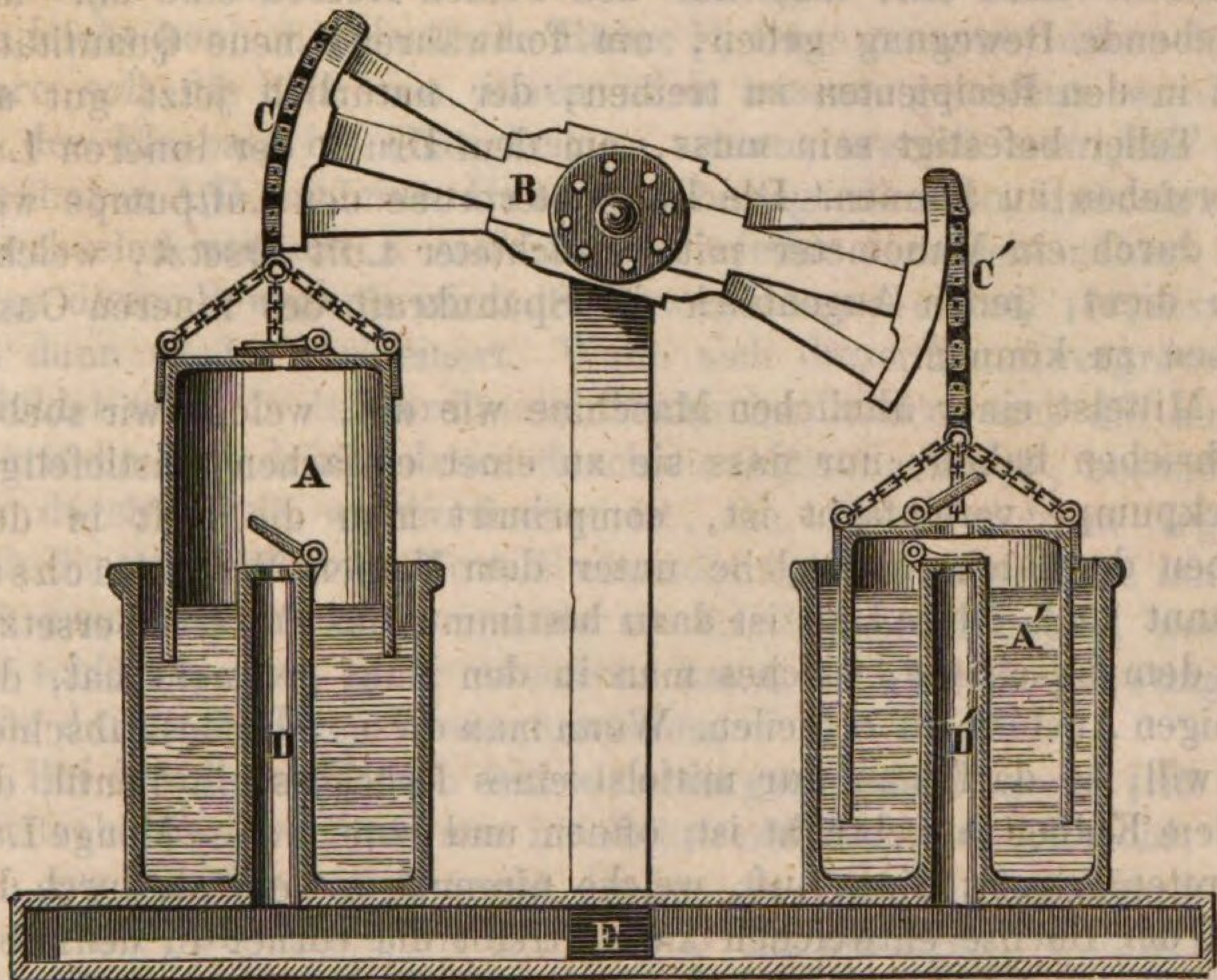


Fig. 522.

kleiner als die der atmosphärischen Luft ist. Aber diese Aenderungen in der Spannkraft sind so gering, dass daraus keine erheblichen Unterschiede im Niveau der Flüssigkeit entstehen. Man sieht daraus übrigens, dass dieses Mittel, die Reibung eines Kolbens an den Wänden des Cylinders, in welchem er sich bewegt, zu vermeiden, nur dann anwendbar ist, wenn man keine grossen Aenderungen in der Spannkraft des Gases, auf welches die Maschine wirkt, hervorbringen muss.

§. 413. **Compressionspumpen.** — Wenn man in einem geschlossenen Raum eine grosse Menge Luft ansammeln will, so bedient man sich dazu einer Compressionspumpe, die ganz ähnlich wie die Luftpumpe (Fig. 517, Seite 738) eingerichtet sein kann, nur dass sich sämmtliche Ventile im entgegengesetzten Sinne, d. h. von oben nach unten öffnen. Wenn dann einer der Kolben sich erhebt, so öffnet sich sein Ventil, während sich das am Boden befindliche schliesst; die äussere Luft dringt folglich durch den Kolben in den Stiefel ein und füllt den Theil des letzteren, der unter dem Kolben gelegen ist, aus. Wenn sich hierauf der Kolben senkt, so schliesst sich sein Ventil, und er drückt daher die Luft, welche sich unter ihm befindet, zusammen; diese öffnet das Ventil

am Boden des Stiefels und wird auf diese Weise in den Recipienten getrieben. Man darf also nur den beiden Kolben eine hin- und hergehende Bewegung geben, um fortwährend neue Quantitäten Luft in den Recipienten zu treiben, der natürlich jetzt gut auf dem Teller befestigt sein muss, um dem Druck der inneren Luft widerstehen zu können. Die Barometerprobe der Luftpumpe wird nun durch ein Manometer mit verdichteter Luft ersetzt, welches dazu dient, jeden Augenblick die Spannkraft des inneren Gases messen zu können.

Mittelst einer ähnlichen Maschine wie die, welche wir soeben beschrieben haben, nur dass sie zu einer einfachen einstiefeligen Druckpumpe vereinfacht ist, comprimirt man die Luft in dem Kolben der Büchsen, welche unter dem Namen Windbüchsen bekannt sind. Diese Luft ist dazu bestimmt, das Pulver zu ersetzen und dem Geschosse, welches man in den Lauf gebracht hat, den nöthigen Anstoss zu ertheilen. Wenn man dieses Geschoss abschiessen will, so darf man nur mittelst eines Drückers ein Ventil, das in dem Kolben angebracht ist, öffnen und eine gewisse Menge Luft austreten lassen; diese Luft, welche nirgends anders als durch den Lauf der Büchse entweichen kann, treibt die vorher in denselben eingebrachte Kugel vor sich her und ertheilt ihr dadurch die entsprechende Geschwindigkeit.

§. 414. **Blasbälge.** — Die Blasbälge, deren man sich bedient, um das Feuer auf den Küchenheerden, in den Oefen, ja auch in den Essen der Schmieden anzublasen, sind nichts anderes als Maschinen, welche dazu bestimmt sind, die Luft aus der Atmosphäre zu schöpfen und sie mit gewisser Geschwindigkeit auf die in Verbrennung begriffenen Brennmaterialien zu treiben.

Ein gewöhnlicher, kleiner Küchenblasbalg besteht aus zwei Platten von Holz, von denen sich jede in einen Handgriff A,B (Fig. 523) endigt, und welche mit einander durch ein Stück biegsamen Leders vereinigt sind, das einen abgeschlossenen Raum zwischen ihnen herstellt. Eine Oeffnung D in der unteren dieser Platten ist von innen mit einem Stück

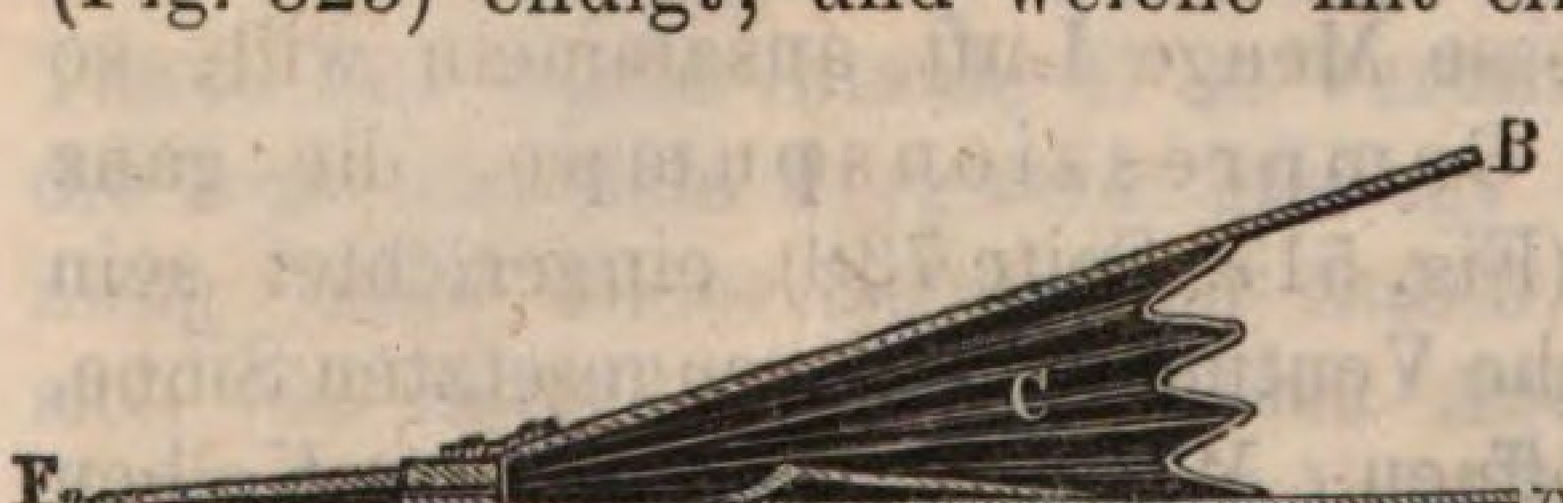


Fig. 523.

biegsamen Leders bedeckt, das nur in einigen Punkten seines Umfangs befestigt ist und eine Art Ventil bildet. Dieses Stück Leder legt sich an die Oeffnung an und verschliesst sie vollständig, wenn die innere Luft auszutreten sucht; wenn dagegen die Luft von aussen in den Blasbalg durch die Oeffnung D eintreten will, so

kann sie das Lederstück leicht emporheben und sich dadurch die Oeffnung frei machen. Nach vorn verlängert sich der Blasbalg in eine leicht konisch zulaufende Röhre F, Düse genannt; durch diese Röhre soll die Luft von innen nach aussen getrieben werden. Um den Blasbalg in Thätigkeit zu setzen, ergreift man jede der Handhaben A,B mit einer Hand und bewegt die B so, dass sie sich abwechselnd von der A entfernt und wieder derselben nähert. In Folge dieser Bewegung wird der innere Raum C einmal vergrössert und dann wieder verkleinert. Wenn sich dieser Raum vergrössert, so bildet sich ein luftverdünnter Raum im Innern, und die atmosphärische Luft dringt daher durch die Oeffnungen D, F, besonders aber durch die D, welche breiter ist, ein. Wenn sich im Gegentheile die beiden Handgriffe A, B einander nähern, so wird die innere Luft zusammengedrückt, und da sie durch die Oeffnung D, welche sich schliesst, nicht mehr austreten kann, so wird sie gezwungen, allein durch die Düse F auszuströmen.

Bei dem Blasbalg, von dem wir eben gesprochen haben, tritt der Luftstrahl aus der Düse nur intermittirend aus; ja noch mehr, zur Zeit, wo derselbe saugt, sucht die äussere Luft ebensowohl durch die Düse F, als durch die Oeffnung D einzudringen, wodurch es sogar kommen kann, dass die Flamme durch die Düse hereinschlägt und im Innern des Blasbalges fortbrennt. Um diese beiden Uebelstände zu vermeiden, hat man die sogenannten Blasbälge mit doppeltem Wind erdacht. Dieselben werden namentlich, in grösseren Dimensionen ausgeführt, in Schmieden zum Anblasen des Feuers in der Esse angewandt; die Fig. 524 stellt nur ein kleines Exemplar eines solchen dar. Er besteht aus drei Platten von Holz, von denen blos zwei sich in Handhaben A,B endigen. Zwischen diesen Platten sind wieder, wie vorhin, zwei weiche gefaltete Lederstücke angebracht, welche zwei Kammern C,F bilden. Die erste dieser Kammern, C, communicirt mit der äusseren Luft durch eine Oeffnung D, welche mit einem Lederventil, ähnlich dem, wie wir es vorhin schon beschrieben haben, versehen ist; ausserdem steht sie mit der zweiten Kammer F durch eine Oeffnung E, die gleichfalls ein Ventil derselben Art bedeckt, in Verbindung. An dem vorderen Ende dieser zweiten Kammer befindet sich ein Kanal, der in eine konische Röhre G, die Düse, endigt, durch welche die Luft hinausgetrieben werden soll. Wenn man die beiden Handhaben A,B von

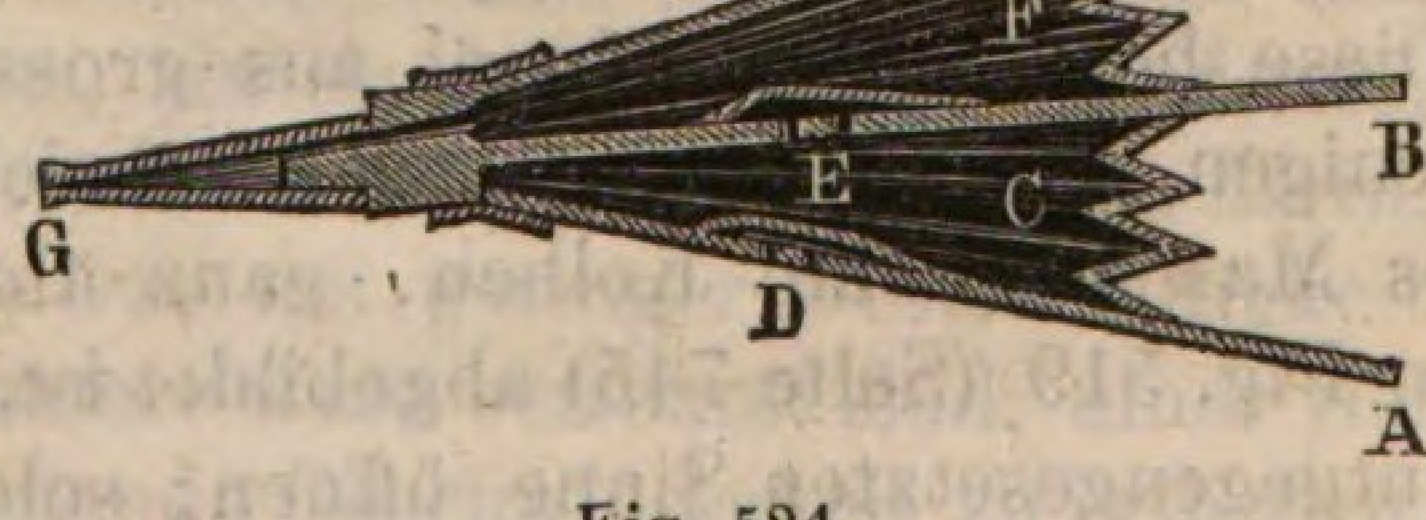


Fig. 524.

einander entfernt, so schliesst sich das Ventil E, das Ventil D aber öffnet sich, und die äussere Luft dringt in die Kammer C. Wenn man hierauf die beiden Handhaben A, B wieder nähert, so schliesst sich das Ventil D, das Ventil E dagegen öffnet sich, und die Luft geht von C nach F über. Eine kleine, innen angebrachte Feder, welche bei grösseren Blasbälgen durch Gewichte, die auf der obersten Platte liegen, ersetzt wird, sucht die beiden hölzernen Platten, welche die Kammer F einschliessen, fortwährend einander zu nähern. Zur Zeit, wo die Luft von C nach F übergeht, gibt diese Feder nach und gestattet so dem Raum F sich zu vergrössern und die Luft in sich aufzunehmen; aber durch die Gegenwirkung, welche die Feder ausübt, wird diese Luft in F zugleich comprimirt und durch die Düse G ausgetrieben. Wenn man auf diese Weise fortfährt, die Handhaben A, B zu bewegen, indem man sie abwechselnd von einander entfernt und einander wieder nähert, so gelangen immer neue Quantitäten Luft von C nach F, ohne dass die Gegenwirkung der Feder Zeit gehabt hätte, die ganze schon vorher in die zweite Kammer F eingeführte Luft auszutreiben. Der Ausfluss der Luft durch die Düse G erfährt also keine Unterbrechung, und der austretende Gasstrahl besitzt eine um so grössere Regelmässigkeit, je schneller die Bewegung der beiden Handhaben ist, in je engere Grenzen also die Aenderungen der Spannkraft der in F enthaltenen Feder eingeschlossen werden.

§. 415. **Gebläse.** — Um die Luft mit einem gewissen Drucke in die grossen Feuer der Essen und Oefen, wie sie namentlich auf den Hüttenwerken zur Anwendung kommen, zu treiben, wendet man sogenannte Gebläse von verschiedener Form an, welche durch Wasserräder oder Dampfmaschinen in Bewegung gesetzt werden. Diese bestehen manchmal aus grossen Blasebälgen, ähnlich denjenigen, welche wir soeben beschrieben haben; ein andermal sind es Maschinen mit Kolben, ganz ähnlich der Luftpumpe, welche in Fig. 519 (Seite 745) abgebildet ist, nur dass sich die Ventile im entgegengesetzten Sinne öffnen; solche Gebläse heissen dann gewöhnlich Cylindergebläse. Sie nehmen die Luft aus der Atmosphäre und drücken sie in gewisse Röhren, in welchen sie zu verschiedenen Oeffnungen (Düsen) geleitet wird, aus denen sie ausströmen soll. Da die Regelmässigkeit, wit welcher die Luft aus diesen Oeffnungen bläst, meistens von grosser Wichtigkeit für den Fortgang der in den Oefen vorzunehmenden Operationen ist, so wendet man zur Erreichung dieser Regelmässigkeit häufig ein ähnliches Mittel an wie das, welches wir bei dem Blasbalg mit doppeltem Winde hervorgehoben haben. Dieses Mittel besteht darin, dass man auf

dem Wege, welchen die Luft nach ihrem Austritt aus der Maschine zu durchlaufen hat, einen cylindrischen Behälter (Fig. 525) anbringt, in welchem sich ein Kolben befindet, der mit Gewichten belastet ist, und der zwischen den Wänden des Behälters frei auf- und abwärts gleiten kann. Die von dem Gebläse gelieferte Luft gelangt auf der einen Seite in diesen Behälter und tritt auf der andern wieder aus. Zur Zeit, wo eine grosse Menge von Luft in dem Zwischenreservoir ankommt, erhebt sich der Kolben; er senkt sich dagegen, wenn die Luft in geringerer Menge einströmt; die Spannkraft der Luft unter dem Kolben des Regulators ist also sehr nahezu immer die nämliche, und folglich ändert sich auch die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft aus dem Regulator tritt, kaum merklich.

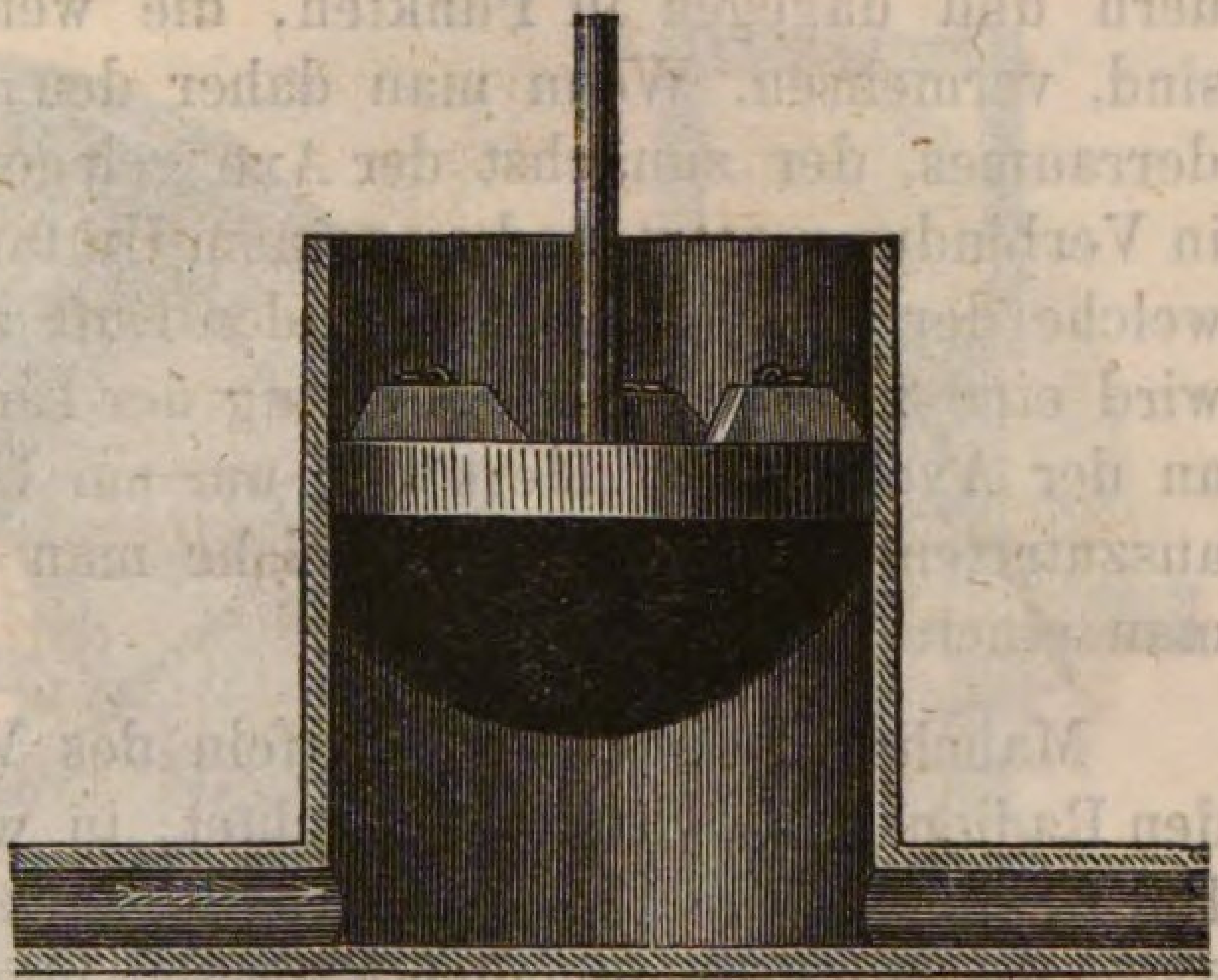


Fig. 525.

Man bedient sich der Gebläse auch häufig zur Hervorbringung des Luftwechsels in den Bergwerken. Zu diesem Zweck stellt man eine Maschine dieser Art an der Mündung des Schachtes auf, durch welchen man die aus der Atmosphäre entnommene Luft abwärts steigen machen will, um einen Luftstrom hervorzubringen, der die unterirdischen Gänge durchzieht und durch einen anderen Schacht wieder emporsteigt. Aber die Gebläse, welche zur Lüftung in den Bergwerken angewendet werden, unterscheiden sich von denen, welche zum Einblasen der Luft in die Feuerheerde dienen, darin, dass erstere eine grosse Menge Gas mit geringer Geschwindigkeit fortbewegen sollen, während letztere dazu bestimmt sind, einer viel kleineren Luftmenge eine bedeutende Geschwindigkeit zu ertheilen.

§. 416. **Ventilatoren.** — Nehmen wir an, dass man im Innern eines Cylinders eine Axe, auf welcher Flügel oder Schaufeln befestigt sind, schnell herumdrehe; die Flügel seien so angeordnet, dass sie die Luft, in welcher sie sich bewegen, in ihre Bewegung mit fortreissen; dann werden in dieser Luft, die auf diese Weise ebenfalls eine sehr schnelle Rotationsbewegung annimmt, Centrifugalkräfte entwickelt, welche sie von der Axe des Cylinders zu entfernen suchen, um sie an seinem Umfang anzuhäufen. Wenn der Cylinder von allen Seiten geschlossen ist, so kann der Druck

der Luftmasse, welche er enthält, nicht an allen Stellen der nämliche bleiben; dieser Druck muss sich in der Nähe der Axe vermindern und dagegen in Punkten, die weiter von der Axe entfernt sind, vermehren. Wenn man daher den mittleren Theil des Cylinderraumes, der zunächst der Axe gelegen ist, mit der freien Luft in Verbindung setzt und an seinem Umfang eine Oeffnung anbringt, welche der dort sich anhäufenden Luft zu entweichen gestattet, so wird eine fortdauernde Bewegung der Luft hergestellt; dieselbe tritt an der Axe des Cylinders ein, um am Umfange desselben wieder auszutreten. Die Maschine, welche man auf diese Art erhält, nennt man einen Ventilator.

Manchmal sind die Schaufeln des Ventilators eben und nach den Radien des Cylinders gerichtet, in welchem sie sich bewegen. Ein Beispiel hievon hat man in der Getreideputzmühle (Fig. 526), deren man sich bedient, um das eben ausgedroschene Getreide von der beigemengten Spreu, dem Staube und sonstigen Verunreinigungen zu säubern. Der durch die Rotation der Schaufeln erzeugte Luftstrom hat hier den Zweck, den Staub und die Streu mit sich fortzureissen und sie auf diese Weise von den Körnern, die ihm, da sie bei gleichgrosser Oberfläche viel schwerer sind, nicht so leicht folgen können, zu trennen.

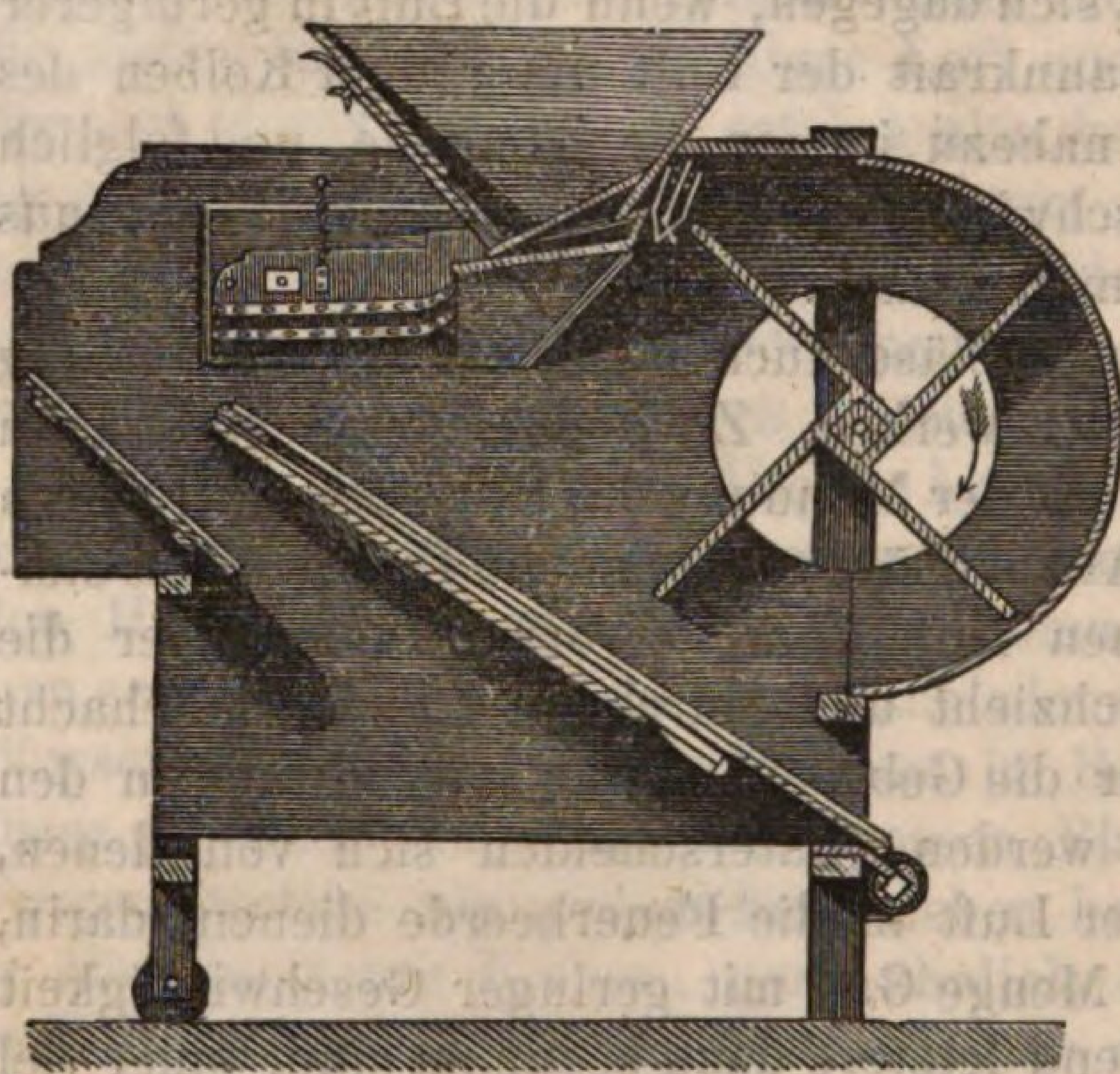


Fig. 526.

Die Fig. 527 und 528 zeigen den Ventilator, welcher gewöhnlich als Gebläse angewandt wird, um die Luft in die grossen Feuer der Essen und Oefen in Schmidewerkstätten und Hüttenwerken einzublasen. Seine Schaufeln sind in dem entgegengesetzten Sinne von dem, in welchem sie sich bewegen, leicht gekrümmt, damit sie in dem Augenblicke, wo sie vor dem Ausblaserohr, das man oben in der Fig. 527 angebracht sieht, vorbeigehen, die Luft leichter entweichen lassen. Die Ventilatoren dieser Art erhalten gewöhnlich eine ausserordentlich schnelle Bewegung. Sie treiben

die Luft mit grosser Regelmässigkeit in die Röhre, mit welcher sie in Verbindung stehen.

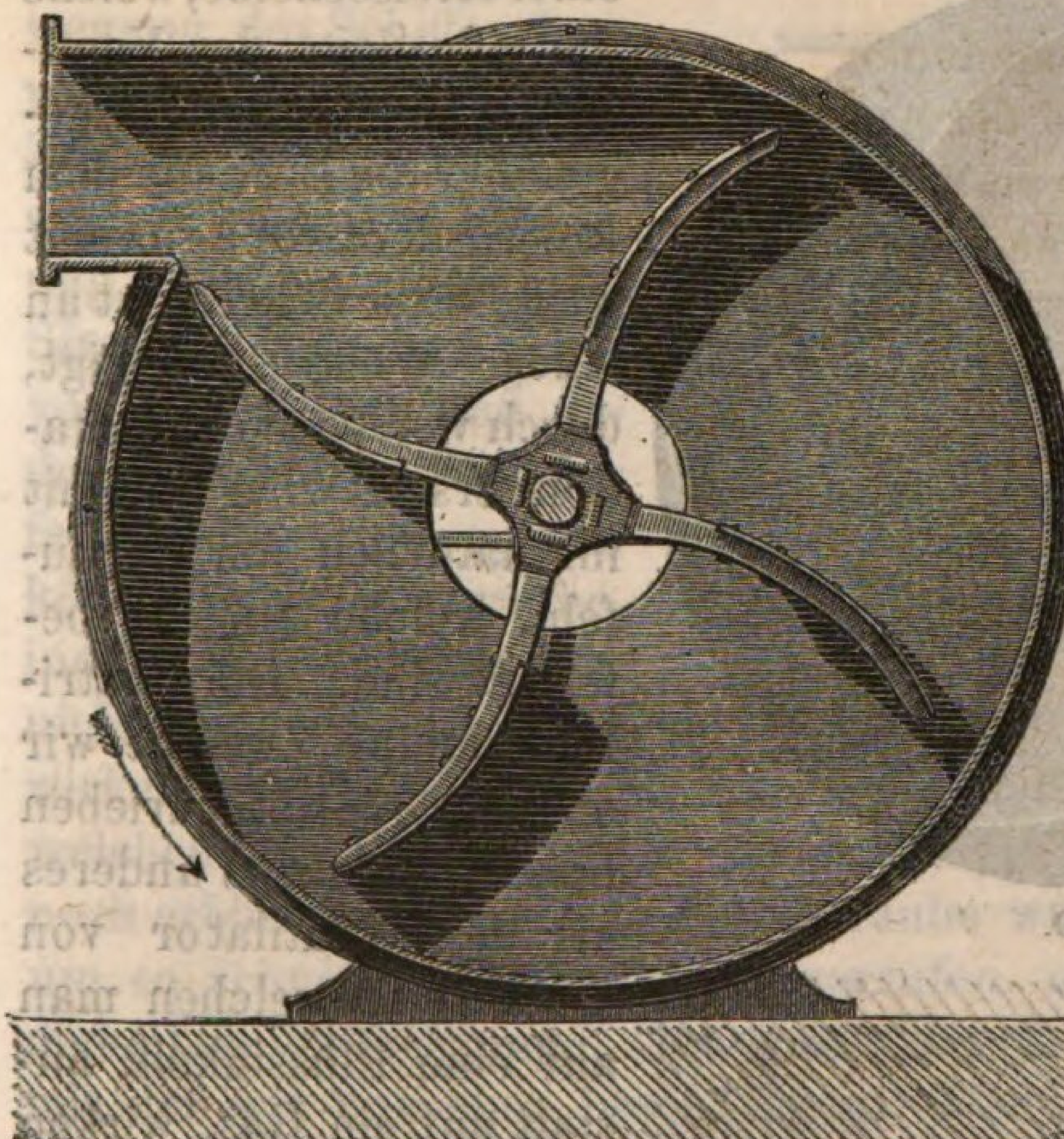


Fig. 527.

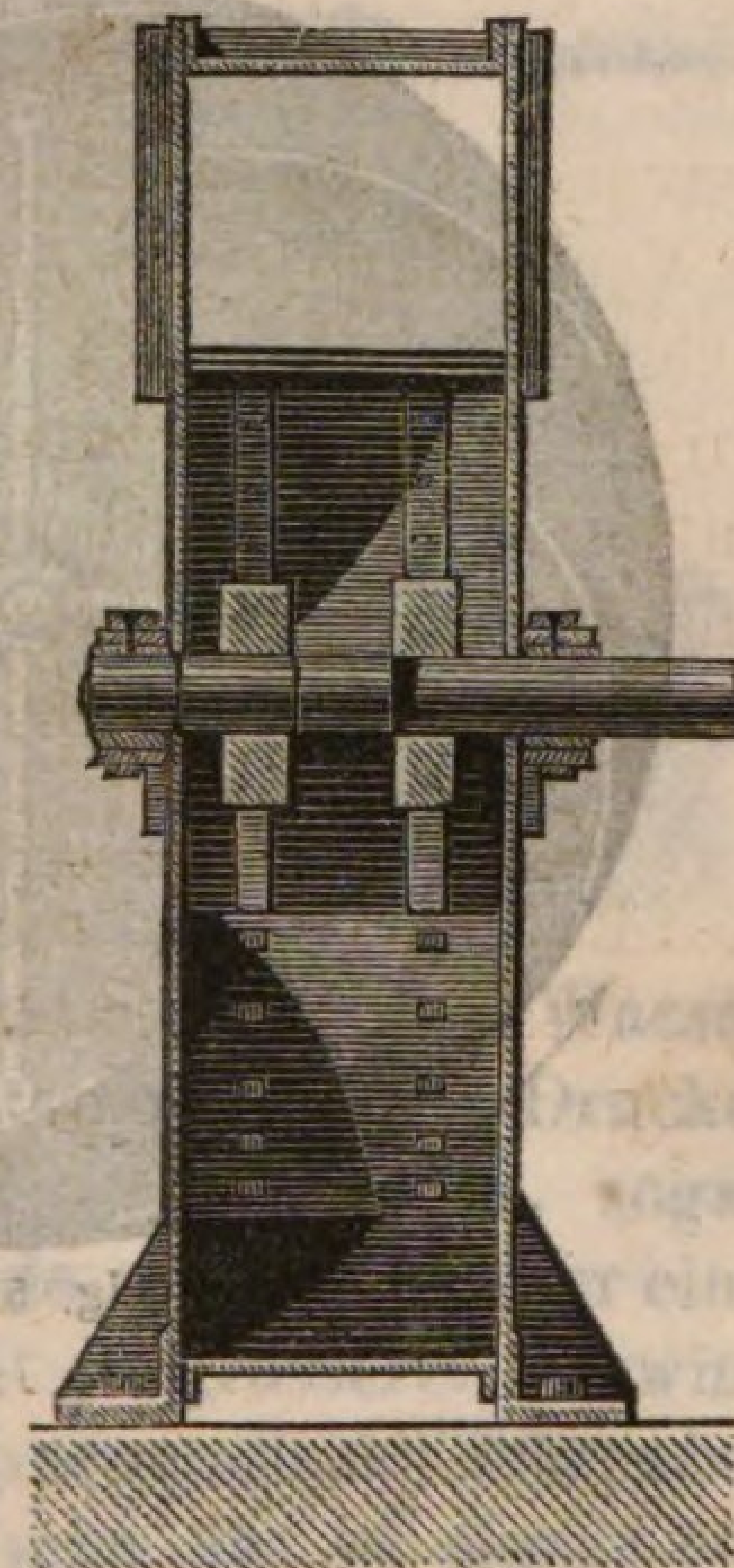


Fig. 528.

Man bedient sich manchmal auch eines Ventilators, um die Luft aus einem Schachte eines Bergwerks zu saugen und dadurch den für die Herstellung des Luftwechsels in der Grube nothwendigen Luftstrom hervorzurufen. Zu diesem Behufe bringt man den Apparat an der Mündung des Schachtes selbst oder auch an der Oeffnung eines weiten Kanals an, welcher mit diesem Schachte in Verbindung gesetzt ist, und richtet es so ein, dass die Luft des Schachtes frei nach der Mitte des Ventilators strömen kann, während sein Umfang nach allen Seiten in die Atmosphäre geöffnet ist. Die Fig. 529 und 530 zeigen einen Ventilator dieser Art, dessen Einrichtung zuerst von Herrn Combes angegeben wurde. Die Schaufeln sind gekrümmt und im entgegengesetzten Sinne der Bewegung, welche sie erhalten, gerichtet. Diese Form der Schaufeln hat den Zweck, dass die Luft in dem Momente, wo sie aus der Maschine in die Atmosphäre übertritt, nur eine geringe Geschwindigkeit besitzt; die Luft gleitet an den Schaufeln im entgegengesetzten Sinne, in welchem sich diese bewegen; ihre absolute Geschwindigkeit nach dem Austritt aus der Maschine ist also nur gleich der Differenz zwischen der Geschwindigkeit des Ventilators und ihrer eigenen Geschwindigkeit in Bezug auf die Schaufeln des-

selben. Die Schaufeln werden hier nicht durch Arme getragen, die an der Welle des Ventilators befestigt sind, sondern sitzen auf einer Kreisscheibe, welche die eine Seite des Ventilators bildet, und der gegenüber die Luft aus dem Innern der Grube gesaugt wird; diese Scheibe ist an einer Welle befestigt, durch welche sie in Rotation versetzt wird und mit ihr natürlich die Schaufeln, welche auf ihr befestigt sind. Die Centrifugalpumpe, welche wir oben (§. 378) beschrieben haben, ist nichts anderes als der Ventilator von Combes, welchen man auf eine Flüssigkeit, anstatt auf ein Gas, wirken lässt.

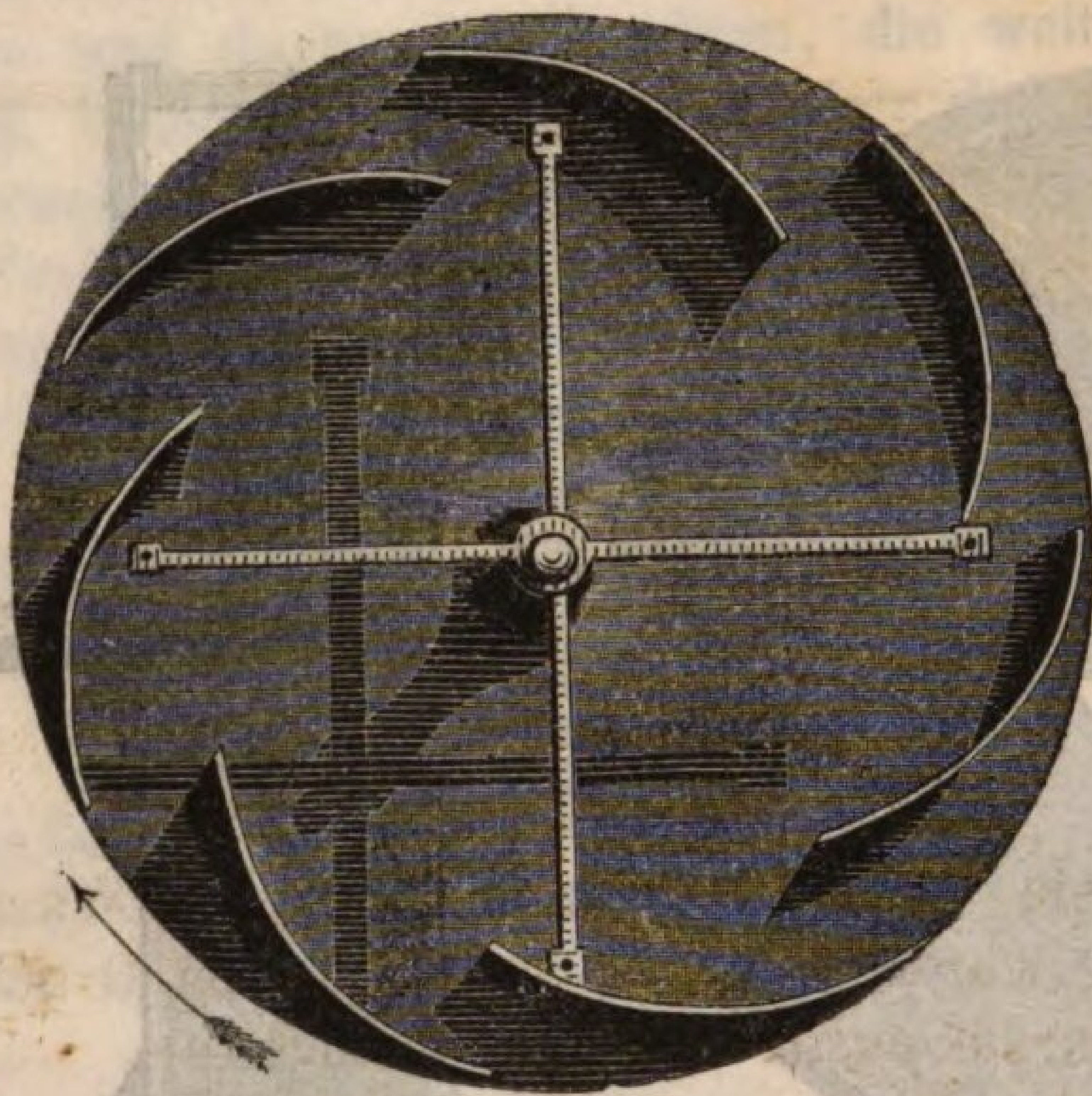


Fig. 529.

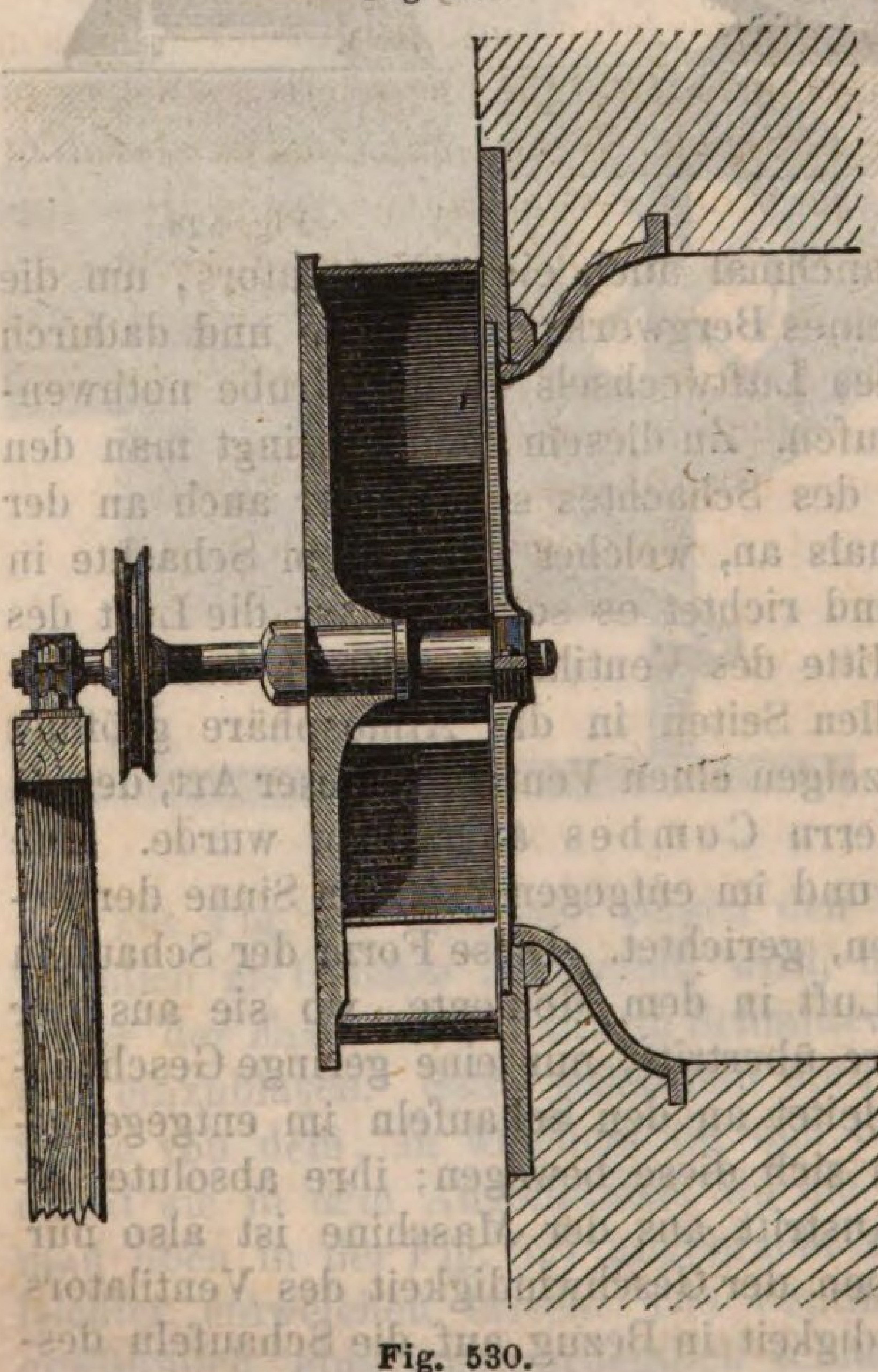


Fig. 530.

§. 417. **Pneumatische Schraube.** — Zur Herstellung des Luftwechsels in den Bergwerken bedient man sich auch manchmal des in Fig. 531 dargestellten Apparates, welcher aus einer Schraube mit grosser Ganghöhe und breiten Windungen besteht, die um eine verticale Axe im Innern eines feststehenden Cylinders beweglich ist, welcher sie genau umschliesst. Diese Schraube, welche man pneumatische Schraube nennt, hat in ihrer Form grosse Aehnlichkeit mit der in Fig. 448

(Seite 621) abgebildeten Schraube und wirkt nahezu auf dieselbe Art. Die Schiffsschraube, indem sie sich in passendem Sinne dreht, ruft eine fortschreitende Bewegung des Schiffes hervor und gibt zu gleicher Zeit dem Wasser, welchem sie begegnet, eine Bewegung im entgegengesetzten Sinne. Wenn das Schiff vor Anker läge und dadurch in seiner Stellung festgehalten wäre, so könnte sich die Schraube, indem sie sich drehte, nicht fortbewegen; aber sie würde noch immer auf das Wasser wirken, und ihre Wirkung würde dadurch, dass sie dem Drucke, welchen das Wasser gegen sie ausübt, nicht folgen kann, sogar noch erhöht. Die Drehung der Schraube würde also im Wasser eine um so schnellere Strömung hervorrufen, mit je grösserer Geswindigkeit sie vor sich ginge. Genau so wirkt die pneumatische Schraube, mit der wir uns eben beschäftigen. Wenn man sie in einem gewissen Sinne rasch dreht, so bringt sie eine aufsteigende Bewegung der Luft hervor und wirkt so an der Mündung des Schachtes, an welcher sie aufgestellt ist, als Saugmaschine. Es ist klar, dass sie in entgegengesetztem Sinne gedreht, einen abwärts gehenden Luftstrom hervorbringt und als Gebläse wirkt.

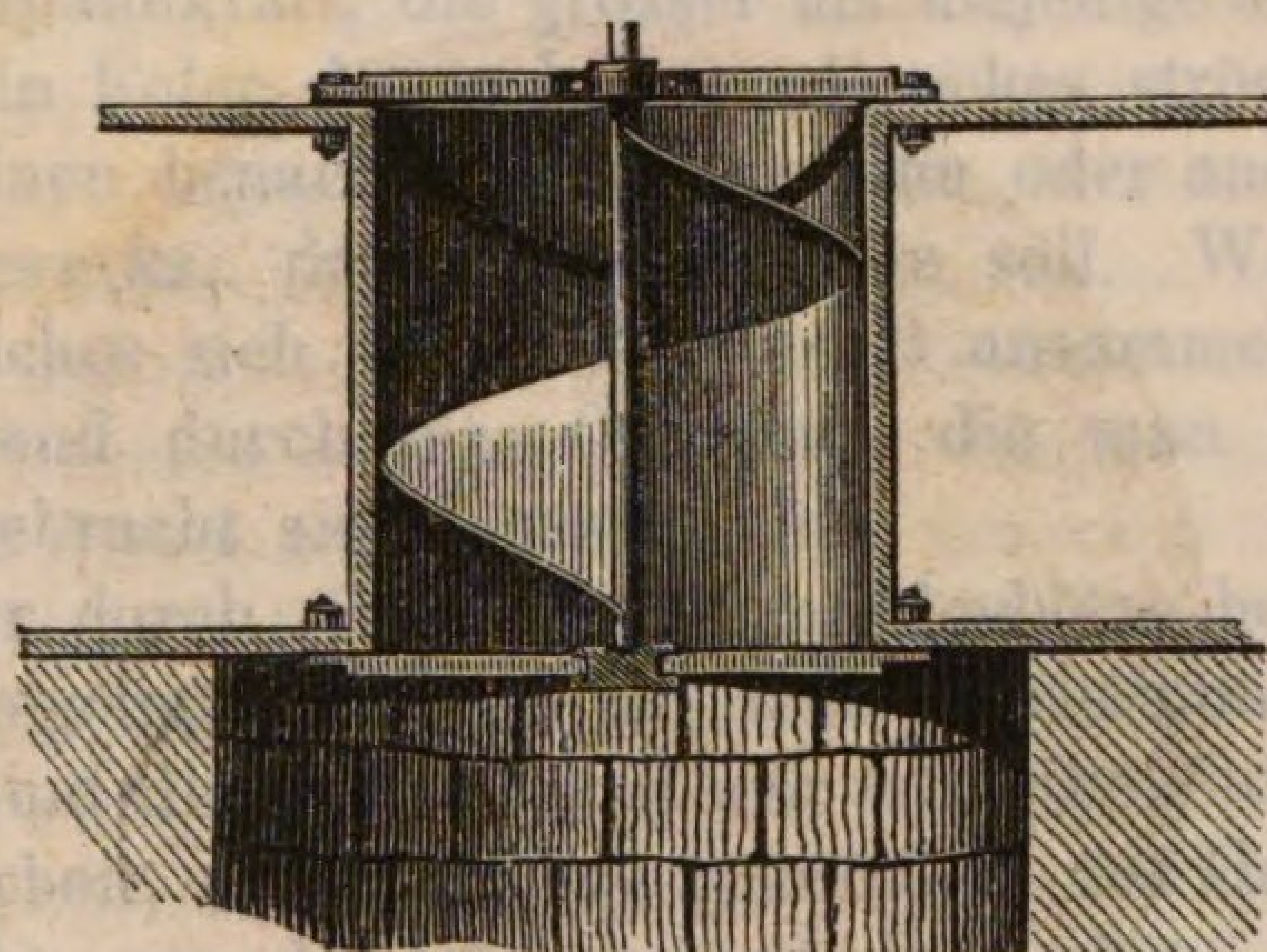


Fig. 531.

§. 418. **Wassertrommelgebläse.** — Wir haben bereits in dem hydraulischen Widder (§. 408) ein Beispiel kennen gelernt, in welchem das Wasser eines Gefälles direkt wirkt, um eine Nutzarbeit hervorzubringen, ohne dass es nöthig wäre, seine Kraft erst auf eine Kraftmaschine überzutragen, wie es gewöhnlich der Fall ist; ein anderes Beispiel dieser Art wollen wir nun in dem Wassertrommelgebläse kennen lernen, eine Gebläsemaschine, die besonders in Gebirgsländern angewendet wird. Diese Maschine besteht im Wesentlichen aus einer vertikalen Röhre von Holz (Fig. 532), in welche man das Wasser aus dem oberen Bette einfallen lässt. Oben ist diese Röhre mit einer Art Trichter versehen, durch welchen das Wasser in sie eintritt; durch diesen Trichter ergiesst sich ein Flüssigkeitsstrahl, welcher oben nicht die ganze Weite der Röhre einnimmt und die Luft, welche sich rings um ihn befindet, in seiner Bewegung mit fortreisst. Die Oeffnungen A,A gestatten dieser inneren Luft in der That der absteigenden Bewegung des

Wassers zu folgen, ohne dass eine Luftverdünnung im oberen Theil der Röhre daraus entstünde, weil die auf diese Weise mit

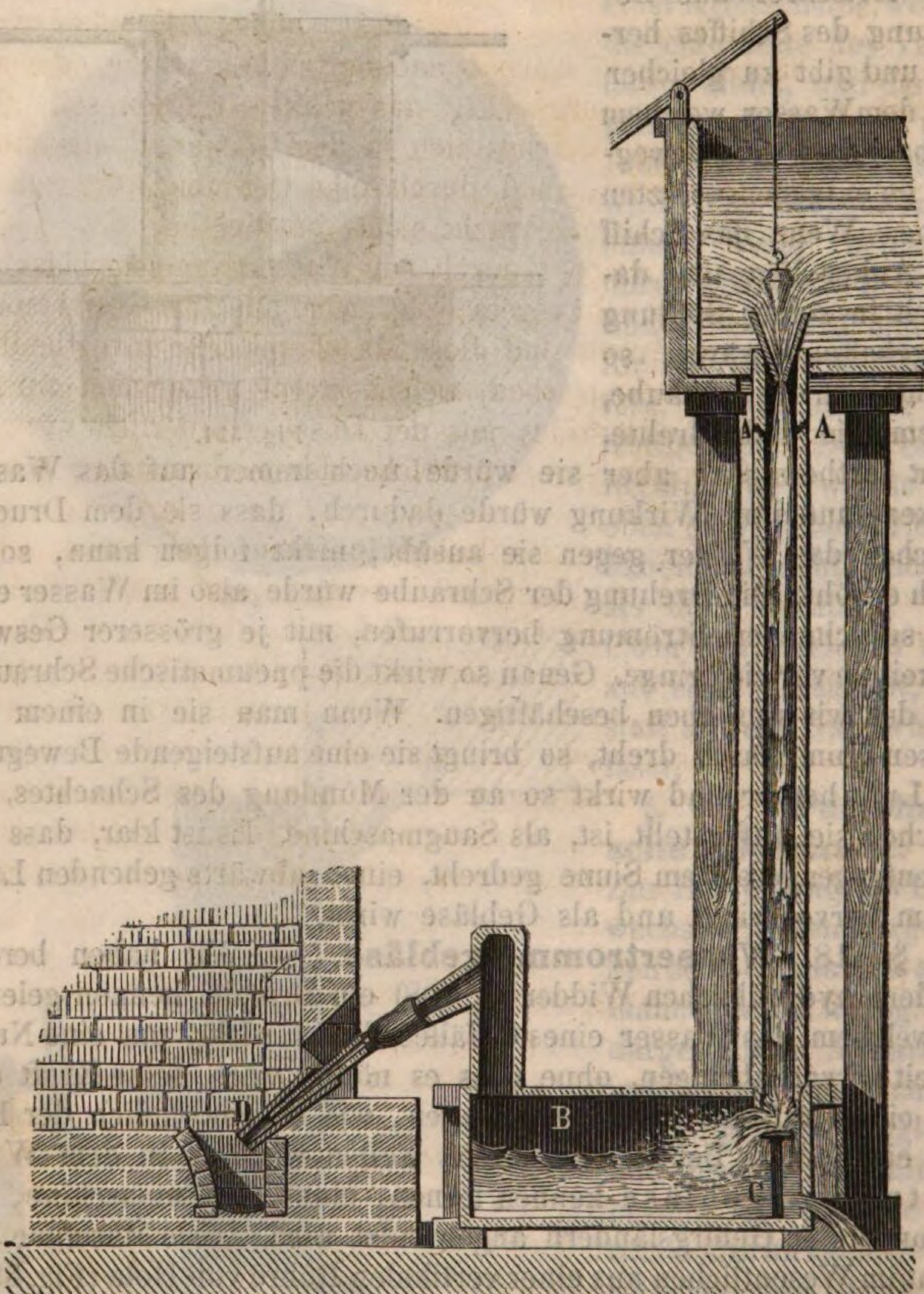


Fig. 532.

fortgerissene Luft unmittelbar durch die äussere Luft, welche durch die Oeffnungen A,A eintritt, wieder ersetzt wird. In Folge dieser Einrichtung wird das Innere der Röhre von oben nach unten fortwährend von einem Gemisch von Luft und Wasser durchströmt. Die Röhre mündet unten in einen vollständig geschlossenen Kasten B. Der herabfliessende Strahl fällt darin auf eine kleine Platte C,

die dazu bestimmt ist, die Trennung der Luft von dem Wasser zu erleichtern. Die Luft sammelt sich oben in dem Kasten an und besitzt in demselben eine Spannkraft, die grösser als diejenige der atmosphärischen Luft ist; in Folge dieses höheren Druckes strömt sie durch die Düse D in einen benachbarten Feuerraum oder auch in den Schacht eines Bergwerks, das gelüftet werden soll. Was das Wasser anbelangt, welches sich in dem Kasten B ansammelt, so kann dasselbe fortwährend durch eine Oeffnung, die man in der Nähe der Platte C angebracht sieht, ausfliessen.

Der Gasstrahl, welcher durch ein Wassertrommelgebläse hervorgebracht wird, ist sehr regelmässig. Aber aus dem Gesichtspunkt der Ersparung von Arbeit sind diese Maschinen sehr unvortheilhaft: die Menge der Bewegungsarbeit, welche streng genommen zur Hervorbringung des Luftstrahles aus der Düse erforderlich wäre, ist nur 0,15 der Bewegungsarbeit, welche der verbrauchten Wassermenge entspricht.

Wenn in Folge einer Explosion in einem Bergwerke schnell eine Lufterneuerung in demselben hervorgebracht werden soll, so nimmt man manchmal zu einem Mittel seine Zuflucht, welches auf demselben Principe wie das Wassertrommelgebläse beruht. Dieses Mittel besteht darin, das Wasser eines benachbarten Baches an die Mündung des Schachtes zu leiten und in denselben hinabströmen zu lassen: dieses Wasser reisst eine bedeutende Quantität Luft mit sich fort, welche es möglich macht, in die Grube hinabsteigen und den verschütteten Arbeitern Hülfe bringen zu können.

Anwendung des Windes als Motor.

§. 419. Die Bewegungen der atmosphärischen Luft können ebenso wie die Bewegung des Wassers in den fliessenden Gewässern dazu angewandt werden, eine Arbeit zu leisten. Diese Quelle von Arbeit ist nicht auf besondere Orte beschränkt, sie existirt überall und in reicher Fülle. Desshalb wäre der Wind der schätzbarste Motor, wenn er mit einer gewissen Regelmässigkeit wirken würde. Aber die ausserordentliche Unregelmässigkeit seiner Wirkung, veranlasst durch die häufigen Aenderungen in seiner Stärke sowohl, als auch in seiner Richtung, hat zur Folge, dass er zur Ausführung von Arbeiten, welche eine gewisse Stetigkeit verlangen, und welche nicht gestatten, dass in der Geschwindigkeit der Mechanismen, durch welche sie ausgeführt werden, zu grosse Aenderungen eintreten, nicht angewendet werden kann.

Die Apparate welche dazu bestimmt sind, die Wirkung des Windes direkt zu empfangen und sie auf die Stücke zu übertragen, welche die Widerstände zu überwinden haben, befinden sich unter denselben Umständen wie die Wasserräder, welche frei in einem weiten Kanal oder Fluss hängen (§. 396). Es handelt sich auch bei ihnen nur darum, einen ausserordentlich geringen Theil der Arbeit nutzbar zu machen, welche die ganze Masse der in Bewegung befindlichen Luft hervorzubringen im Stande ist; ausserdem ist man bei ihnen nicht gezwungen, ihre Dimensionen in enge Grenzen einzuschränken: desshalb hat man es bei der Construktion dieser Apparate nicht gerade darauf abzusehen, dass ihr Wirkungsgrad ein möglichst grosser wird. Einfachheit der Construktion und leichte Ausführbarkeit der Reparaturen sind die Hauptbedingungen, welche man bei der Anordnung von Apparaten dieser Art zu erfüllen suchen muss. Was die Grösse der Arbeit betrifft, welche sie nutzbar machen, so richtet sich dieselbe nach den grösseren oder geringeren Dimensionen, die man ihnen gibt.

§. 420. **Segelschiffe.** — Der Wind ist derjenige Motor, welcher bei der Schifffahrt auf dem Meere am häufigsten angewandt wird; er war lange Zeit hindurch sogar der einzige, und erst im gegenwärtigen Jahrhundert wurde er bei einer gewissen Zahl von Schiffen durch die Kraft des Dampfes ersetzt. Die geringe Regelmässigkeit des Windes macht sich nothwendig bei der Fahrt der Schiffe, welche ihre Bewegung von ihm erhalten, fühlbar. Bald werden sie durch Windstille längere oder kürzere Zeit hindurch in beinahe vollkommener Unbeweglichkeit gehalten, bald dagegen werden sie durch die Heftigkeit des Windes den grössten Gefahren ausgesetzt. Und andererseits, wenn auch die Geschwindigkeit des Windes die Grenzen, innerhalb welchen sie für eine gute Fahrt am günstigsten wirkt, nicht überschreitet, so ist doch die Richtung desselben sehr veränderlich und oft sehr von der verschieden, nach welcher das Schiff fortbewegt werden soll.

Damit ein Schiff die Wirkung des Windes, welche zu seiner Fortbewegung erforderlich ist, aufnehmen kann, muss es mit einer Ausrüstung von Masten und Tauwerk versehen werden, die dazu bestimmt sind, die S e g e l zu tragen, auf welche der Wind seinen Druck ausüben soll. Diese Segel sind grosse Stücke Leinwand, welche ausgespannt und zusammengelegt werden können, und welchen man, je nach Bedürfniss, verschiedene Richtungen geben kann. Wenn sich das Schiff genau in der Richtung des Windes und in demselben Sinn wie dieser bewegen soll, so ist klar, dass man die Segel nur so anordnen darf, dass ihre Flächen senkrecht zur Axe

des Schiffes stehen: dann übt der Wind, indem er gerade senkrecht auf sie trifft, einen Druck gegen sie aus, der im Sinne dieser Axe wirkt und eine Bewegung des Schiffes in demselben Sinne hervorbringt. Aber wenn die Richtung des Windes nicht diejenige des Weges ist, welchen das Schiff nehmen soll, so ist man genöthigt, den Segeln eine schiefe Lage im Verhältniss zur Längenaxe des Schiffes zu geben und es ausserdem so einzurichten, dass der Wind schief auf ihre Fläche trifft. Indem dann der Wind über die Segel hinstreift, übt er einen Druck gegen sie aus, der immer senkrecht gegen ihre Fläche gerichtet ist, und welcher folglich auch eine schiefe Richtung zu derjenigen der Bewegung der Luft hat; wenn andererseits die Bewegung des Schiffes nicht genau im Sinn seiner Länge stattfindet und überdiess das Steuerruder mehr oder weniger in passendem Sinne gedreht ist, so folgt daraus ein Widerstand der Flüssigkeit, der schief zur Richtung der Bewegung des Schiffes gerichtet ist. Wenn man nun beachtet, dass die Resultante der Drückungen, welche die Luft auf das Schiff ausübt, und welche grösstentheils von den Segeln empfangen werden, fortwährend dieselbe Richtung wie der von der Flüssigkeit ausgeübte Widerstand haben muss, so wird man sehen dass die beiden Ursachen, welche soeben bezeichnet worden sind, zusammentreffen, um eine grössere oder geringere Schiefe der Richtung der Bewegung des Schiffes gegen diejenige des Windes, welcher sie veranlasst, hervorzubringen.

Indem man den Segeln sowohl, als dem Steuerruder die passenden Stellungen gibt, kann man es so einrichten, dass diese Schiefe sehr gross wird; ja man kann es sogar dahin bringen, dass sich das Schiff in einer Richtung, entgegengesetzt von der des Windes, fortbewegt. Wenn die Richtung der Bewegung des Schiffes den möglichst kleinsten Winkel mit der Richtung bildet, von welcher der Wind kommt, so sagt man, man fahre so nahe als möglich bei dem Wind; der Winkel, der durch diese beiden Richtungen gebildet wird, kann bis auf 65°, ja unter den günstigsten Umständen sogar auf 60° reducirt werden. Indem man so, bald auf der einen, bald auf der anderen Seite, möglichst nahe bei dem Winde fährt, und auf diese Weise eine Zickzacklinie beschreibt, kann man es offenbar dahin bringen, dass sich zuletzt das Schiff in gerade entgegengesetzter Richtung von der des Windes fortbewegt hat; man nennt diese Fahrweise laviren.

§. 421. **Windmühlen.** — Die Kraft des Windes wird schon seit undenklichen Zeiten angewandt, um Mühlen zum Mahlen des Getreides in Bewegung zu setzen, welchen man den Namen Windmühlen gibt. Die Fig. 533 zeigt die Einrichtung dieser Maschinen.

Eine Welle AB, die sich in Lagern, von welchen sie getragen wird, um ihre Axe drehen kann, ist in der Richtung des Windes aufge-

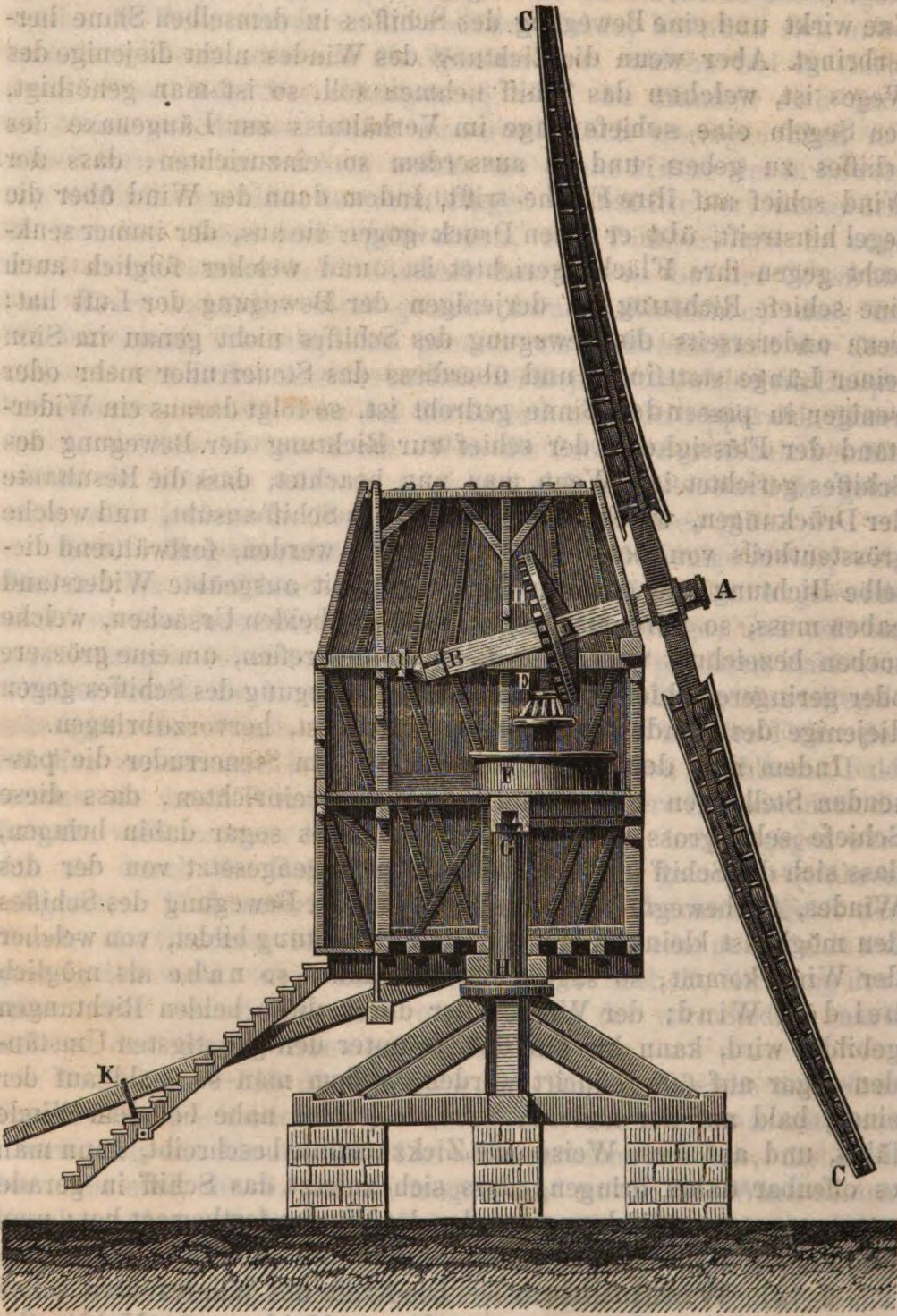


Fig. 533.

stellt. Sie bildet einen Winkel von 10 bis 15 Grad mit dem Horizont. Diese Neigung wurde angenommen, weil man bemerkt hat,

dass die Bewegung der Luft gewöhnlich nicht horizontal gerichtet ist, sondern einen kleinen Winkel mit der Oberfläche der Erde bildet. Am Ende A der Welle AB sind, senkrecht auf ihre Länge, vier Arme, Windruthen genannt, so befestigt, dass sie eine Art Kreuz bilden; jede dieser Ruthen dient einer fast rechteckigen, viel längeren als breiten Fläche C, welche dazu bestimmt ist, die Wirkung des Windes aufzunehmen, und die man Windflügel nennt, zur Axe. Man gibt den Flügeln gewöhnlich eine Breite von 2^m und eine Länge von 11^m; das der Welle AB zunächst liegende Ende derselben ist gewöhnlich noch um 2^m von derselben entfernt: der Raum, welchen die vier Flügel zu ihrer Bewegung brauchen, hat folglich einen Durchmesser von 26^m. Jeder Flügel wird von den sogenannten Windsprossen gebildet, die in gewissen Entfernungen quer durch die Windruthe gesteckt sind, und deren Enden zu beiden Seiten dieser Windruthe, der ganzen Länge der Flügel nach, durch andere Holzstücke, Saumlatten genannt, verbunden werden. Die so gebildeten durchbrochenen Rahmen haben grosse Aehnlichkeit mit einer Leiter, welche in der Mitte ihrer Sprossen an der Windruthe befestigt ist. Ueber die ganze Fläche dieses Rahmens kommt eine Bedeckung von Segeltuch zu liegen, sodass eine zusammenhängende Fläche gebildet wird, die dazu bestimmt ist, die Luft in ihrer Bewegung aufzuhalten und folglich den daraus hervorgehenden Druck aufzunehmen.

Die Flächen der Flügel sind nicht in der Ebene gelegen, die senkrecht zur Welle AB steht und ihre Axen enthält; sie besitzen vielmehr eine gewisse Neigung zu dieser Ebene, sodass sie die Wirkung des Windes, deren Richtung dieselbe wie diejenige der Welle AB ist, in schiefer Richtung empfangen. Es ist leicht, sich von der Nothwendigkeit dieser Schiefe der Flügel gegen die Richtung der Welle AB Rechenschaft zu geben. Wenn die Fläche eines Flügels senkrecht auf der Welle AB stünde, so würde sie vom Winde senkrecht getroffen werden und daher einen Druck zu erfahren haben, der dieselbe Richtung wie der Wind hätte und also parallel zur Welle AB wäre; dieser Druck würde also den Flügel zurückzuschieben und ihn längs der Welle AB gleiten zu machen suchen, aber er würde niemals eine Drehung desselben in dem einen oder anderen Sinn hervorbringen können. Wenn die Fläche des Flügels dagegen parallel zu AB gerichtet wäre, so würde der Wind nur seiner schmalen Kante begegnen, und er würde daher nur eine ausserordentlich schwache Wirkung erfahren, welche ihn ausserdem ebensowenig wie vorhin zu drehen suchen würde. Wenn man dagegen dem Flügel eine gewisse Neigung zur Welle gibt, so

wird der Druck, welchen er von Seite des Windes erfährt, und der immer senkrecht auf seine Fläche gerichtet ist, gleichfalls schief gegen die Welle AB gerichtet sein, und er wird folglich durch diesen Druck in gewissem Sinn herumgedreht werden. Die Neigungen der verschiedenen Flügel sind so eingerichtet, dass die Drückungen, welche jeder von ihnen erleidet, die Welle AB in dem nämlichen Sinne herum zu drehen suchen.

Die Schiefe der Fläche der Flügel gegen die Richtung der Welle AB ist gewöhnlich ihrer ganzen Länge nach nicht gleichgross; sie vermindert sich von dem Ende des Flügels, das der Welle zunächst liegt, bis zum anderen Ende, sodass der Flügel dem Winde nicht eine ebene, sondern eine windschiefe Fläche darbietet. Bei gut construirten Windmühlen bildet der Theil des Flügels, welcher der Welle zunächst gelegen ist, einen Winkel von 60° mit der Richtung dieser Welle, der entfernteste Theil dagegen einen Winkel von 80°. Diese Aenderung in der Schiefe von einem Punkt des Flügels zum anderen ist in der mehr oder weniger grossen Geschwindigkeit begründet, welche seine verschiedenen Punkte zu gleicher Zeit besitzen. Es ist nicht schwer einzusehen, dass in der That diese Verschiedenheit der Geschwindigkeit eine Aenderung der Neigung der Flügelfläche bedingt. Es sei MN (Fig. 534) der Theil der Fläche des Flügels, welchen wir betrachten. Nehmen wir an, dass sich der Wind im Sinn des Pfeiles *f* bewege, dass dagegen die Fläche MN, indem sie sich um die nach dem nämlichen Pfeil *f* gerichteten Welle der Mühle dreht, nach einer auf der *f* senkrechten Richtung, die durch den Pfeil *f'* angezeigt ist, fortschreitet. Wenn, während die Fläche MN in die Lage M'N' übergeht, ein nächst N gelegenes Molekül des Windes in Folge seiner eigenen Geschwindigkeit genau den Weg NM' durchlaufen kann, so ist klar, dass dieses Molekül durch die Oberfläche MN in seiner Bewegung nicht aufgehalten, dass es folglich nicht längs dieser Fläche gleiten, und daher auf dieselbe keinerlei Wirkung ausüben wird. Damit die Fläche MN einen Druck von Seite des Windes erfahren kann, muss die Geschwindigkeit der Luftmoleküle so gross sein, dass dieselben, wenn sie nicht aufgehalten würden, einen grösseren Weg als den NM' durchlaufen könnten, während die Fläche MN in die Stellung M'N' übergeht.

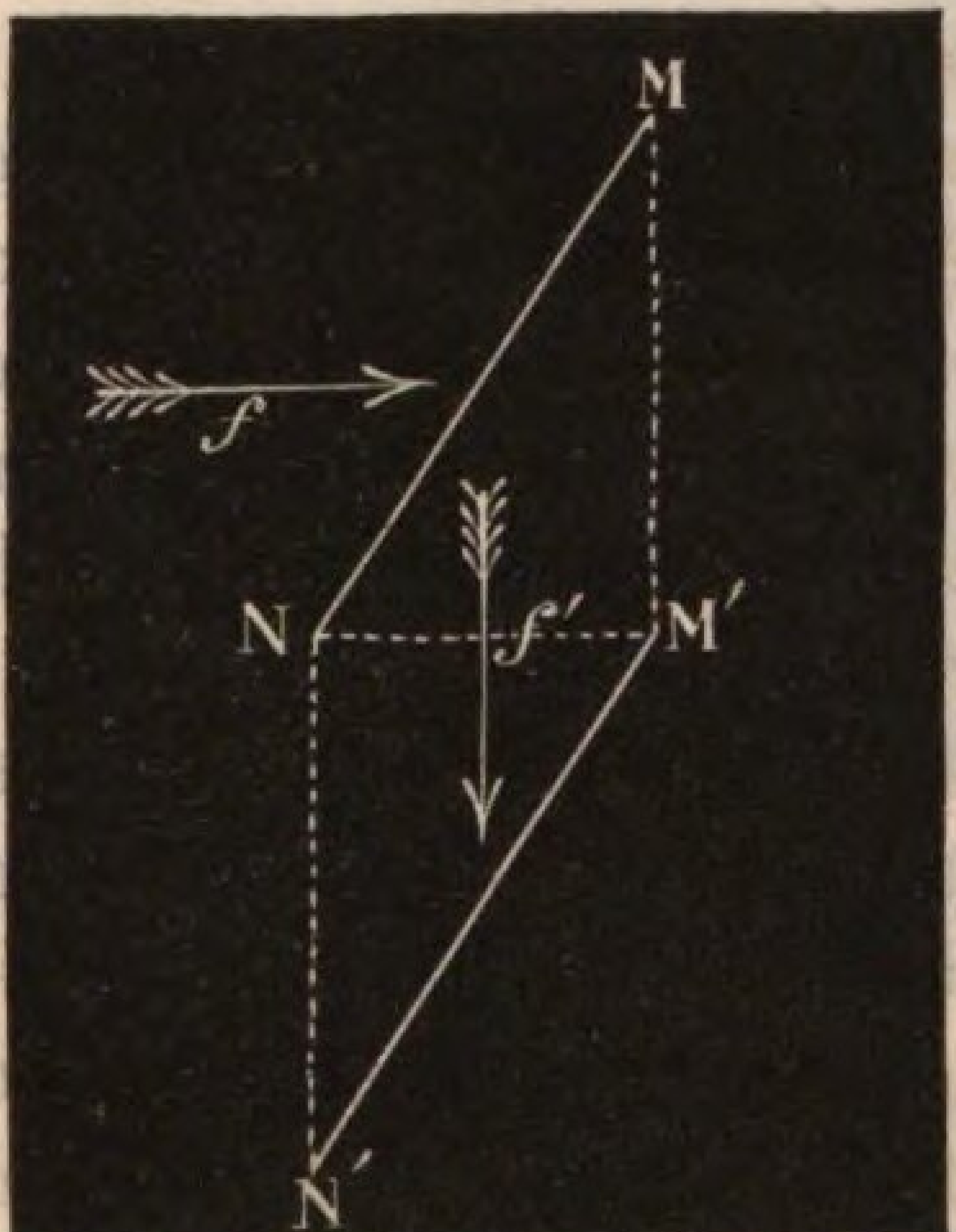


Fig. 534.

Man sieht in der That, dass in diesem Fall jene Oberfläche die Bewegung der Luft aufhält, und dass sie folglich eine Gegenwirkung von Seiten der Luft erfährt, welche ihre Geschwindigkeit zu beschleunigen sucht. Wenn wir der Fläche MN, bei ein und derselben Geschwindigkeit des Windes, immer grössere und grössere Geschwindigkeiten beilegen, so wird diese Fläche immer kürzere Zeiten erfordern, um in die Stellung M'N' überzugehen; während dieser Zeiten werden folglich die Luftmoleküle in Folge ihrer eigenen Geschwindigkeiten immer kleinere Wege durchlaufen. Damit also diese Wege immer grösser als NM' bleiben und folglich der Wind immer einen Druck auf die Fläche MN ausübt, so muss NM' immer kleiner und kleiner werden, in dem Maasse, als sich MN schneller bewegt; oder mit anderen Worten, es muss sich MN mehr und mehr der Lage nähern, wo sie senkrecht auf der Richtung des Windes oder auch auf der Richtung der Welle der Mühle steht. Nun befinden sich die verschiedenen Theile eines Flügels, die in immer grösseren und grösseren Entfernungen von der Umdrehungswelle gelegen sind, genau in dem Fall, welchen wir oben vorausgesetzt haben; sie bewegen sich um so schneller, je weiter sie von der Umdrehungswelle entfernt sind, und empfangen doch die Wirkung einer Luftmasse, welche durchaus die nämliche Geschwindigkeit besitzt: daraus folgt also, dass sich die Schiefe dieser verschiedenen Theile gegen die Richtung der Welle in Folge der Vermehrung ihrer Geschwindigkeit vermindern muss.

Aus dem Vorhergehenden folgt zugleich, dass bei einer bestimmten Geschwindigkeit der Flügel die Wirkung des Windes auf dieselben um so grösser wird, je mehr sich ihre Flächen der Lage nähern, wo sie senkrecht auf der Umdrehungswelle stehen; zugleich aber ist klar, dass sich die Kraft, mit welcher dieselben in der Richtung f' bewegt werden, mit der Annäherung an diese Lage mehr und mehr verkleinert; es muss also bei gegebener Geschwindigkeit der Flügel und des Windes einen gewissen vortheilhaftesten Winkel (Stosswinkel) geben, den die Fläche derselben mit der Richtung des Windes oder mit der Umdrehungswelle bildet, und bei welchem die Wirkung des Windes auf den Flügel die grösstmöglichste ist. Die oben angegebenen Winkel (60—80°) gelten für die Umdrehungsgeschwindigkeit, wie sie gewöhnlich bei Windmühlen stattfindet, wo ungefähr 16 Umdrehungen in der Minute gemacht werden.

Die Rotationsbewegung, welche der Wind der Welle AB (Fig. 533) ertheilt, wird auf den inneren Mechanismus der Mühle mittelst eines Zahnrades D, das an dieser Welle befestigt ist, und einer

Laterne E, in welche das Rad D eingreift, übertragen; die Laterne E ist auf derselben Axe wie der Läufer F befestigt (§. 168). Die ganze Maschine wird durch ein starkes, vertikales Stück Holz GH getragen, um welches sie sich wie um eine Axe drehen kann. Ein langer Hebel K ist an der Mühle befestigt und dient dazu, sie zu richten; indem man auf das Ende dieses Hebels wirkt, kann man die ganze Mühle um GH drehen und auf diese Weise die Welle AB in die Richtung bringen, von welcher der Wind kommt. Um diese Operation zu erleichtern, bringt man häufig am Ende des Hebels K einen kleinen Haspel an (§. 60), um welchen sich ein Seil wickelt, dessen freies Ende in gewisser Entfernung an dem Boden befestigt wird. Indem man den Haspel dreht, sucht man das Seil auf seinem Umfang aufzuwickeln; aber da sein Ende befestigt ist, und daher der Zugkraft, welche an dem Seile angebracht ist, nicht Folge leisten kann, so muss sich der Haspel fortbewegen und diese seine Bewegung auf den Hebel K und die Mühle übertragen.

Der Bewegungsapparat einer Windmühle, bestehend aus der Welle AB und den Flügeln C,C, wird häufig auch angewendet, um andere Mechanismen, wie z. B. Sägen (§. 170) oder Holländische Wasserschrauben (§. 360) u. s. w. in Bewegung zu setzen. Man hat dabei den Namen Windmühle, im weiteren Sinn genommen, für jenen Apparat beibehalten, welches auch die Art der Arbeit ist, für welche er verwendet wird.

§. 422. Wenn sich eine Windmühle nicht mehr bewegen soll, so legt man die Segeltuchbedeckung der Flügel zusammen, indem man sie der durch die Ruthe gebildeten Axe jedes Flügels nähert. Die auf diese Weise durchbrochen gewordenen Flächen der Flügel sind nicht mehr im Stande, die Wirkung des Windes aufzunehmen. Um die Maschine, nachdem ihre Treibwelle in die Richtung des Windes gestellt ist, wieder in Bewegung zu setzen, reicht es hin, die Bedeckung der Flügel wieder auszubreiten. Um diese Operationen ausführen zu können, führt man nach und nach jeden der Flügel an den tiefsten Punkt des Weges, welchen er, indem er sich dreht, durchläuft, und hält ihn in dieser Stellung fest, während man auf den Windsprossen, wie auf einer Leiter emporsteigt, sei es nun, um die Bedeckung zusammenzulegen, oder um sie auszubreiten. Um aber die Flügel in einer bestimmten Lage unbeweglich festzuhalten, bedient man sich einer Bremse, ähnlich der in Fig. 230 (Seite 268) abgebildeten. Diese Bremse wird aus einem grossen Ring von Holz gebildet, welcher das Rad D (Fig. 533) umgibt, und dessen eines Ende festgemacht ist; das andere Ende ist an einem starken Hebel befestigt, dessen Gewicht allein hinreicht,

den Ring so stark gegen den Umfang des Rades D anzudrücken, dass er sich jeder Bewegung desselben widersetzt. Während des Ganges der Maschine ist dieser Hebel gehoben und wird durch einen Hacken getragen, der ihn verhindert auf die Bremse zu wirken.

Man sieht, dass das Geschäft, die Segeltuchbedeckung der Flügel einer Mühle auszubreiten oder zusammenzulegen, nicht sehr bequem ist; es erfordert eine gewisse Zeit, und ausserdem setzt es denjenigen, welcher es auszuführen hat, ziemlich grossen Gefahren aus, besonders wenn es sich darum handelt, bei sehr heftig werdendem Winde die Mühle schnell der Wirkung desselben zu entziehen. Andererseits ist es nicht möglich, die Flügelbedeckung in jedem Augenblick, je nachdem der Wind mehr oder weniger stark ist, mehr oder weniger zusammenzulegen; und doch wäre es gut, diess thun zu können, um die Maschine nicht unnütz anzustrengen und zu verhindern, dass ihre Bewegung zu rasch wird. Um diese verschiedenen Nachtheile zu beseitigen, hat in neuester Zeit Herr Berton ein besonderes System von Windflügeln erdacht, das immer häufiger angewandt wird, und welches gestattet, während des Ganges der Mühle nach Belieben die Grösse der Flügelfläche, welche die Wirkung des Windes aufnimmt, ändern zu können. Die Fig. 535 zeigt die Einrichtung dieser Flügel. Die Treibwelle der Mühle ist wie bei den gewöhnlichen Mühlen mit vier Armen A versehen, welche senkrecht auf ihr stehen, und welche die Axen der Flügel bilden sollen. Aber anstatt dass diese Flügel eine durchbrochene Oberfläche haben, welche man beliebig mit Segeltuch bedeckt, werden sie hier aus einer gewissen Anzahl von Latten C gebildet, welche sich theilweise bedecken und auf diese Weise eine, auf die Richtung der Welle der Mühle schiefe Fläche bilden. Diese Latten, welche grosse Aehnlichkeit mit denen haben, aus welchen die Jalousien bestehen, sind mittelst Klammern D an Querstäben E befestigt. Die Querstangen E selbst sind an verschiedenen Punkten an dem Arme A angebracht, aber auf die Art, dass sie sich um ihre Befestigungspunkte drehen und einen mehr oder weniger spitzen Winkel mit der Richtung der Arme bilden können. Die Klammern D sind gleichfalls um ihre Befestigungspunkte mit den Querstangen E beweglich. Vier Zahnstangen N sind an einem ihrer Enden mit der ersten Querstange jedes Flügels scharnierartig verbunden; sie greifen ausserdem in ein gezahntes Trieb, das am Ende der Mühlwelle gelegen ist. Dieses Trieb ist an einer Axe von Eisen befestigt, welche die Treibwelle, die zu diesem Ende hohl ist, ihrer ganzen Länge nach durchdringt und sich am anderen Ende dieser Welle in eine Kurbel endigt, mittelst welcher man sie innerhalb der Treibwelle

leicht drehen kann. Indem man auf die Kurbel wirkt, gibt man der Axe, welche sie trägt, und dem am anderen Ende dieser Axe

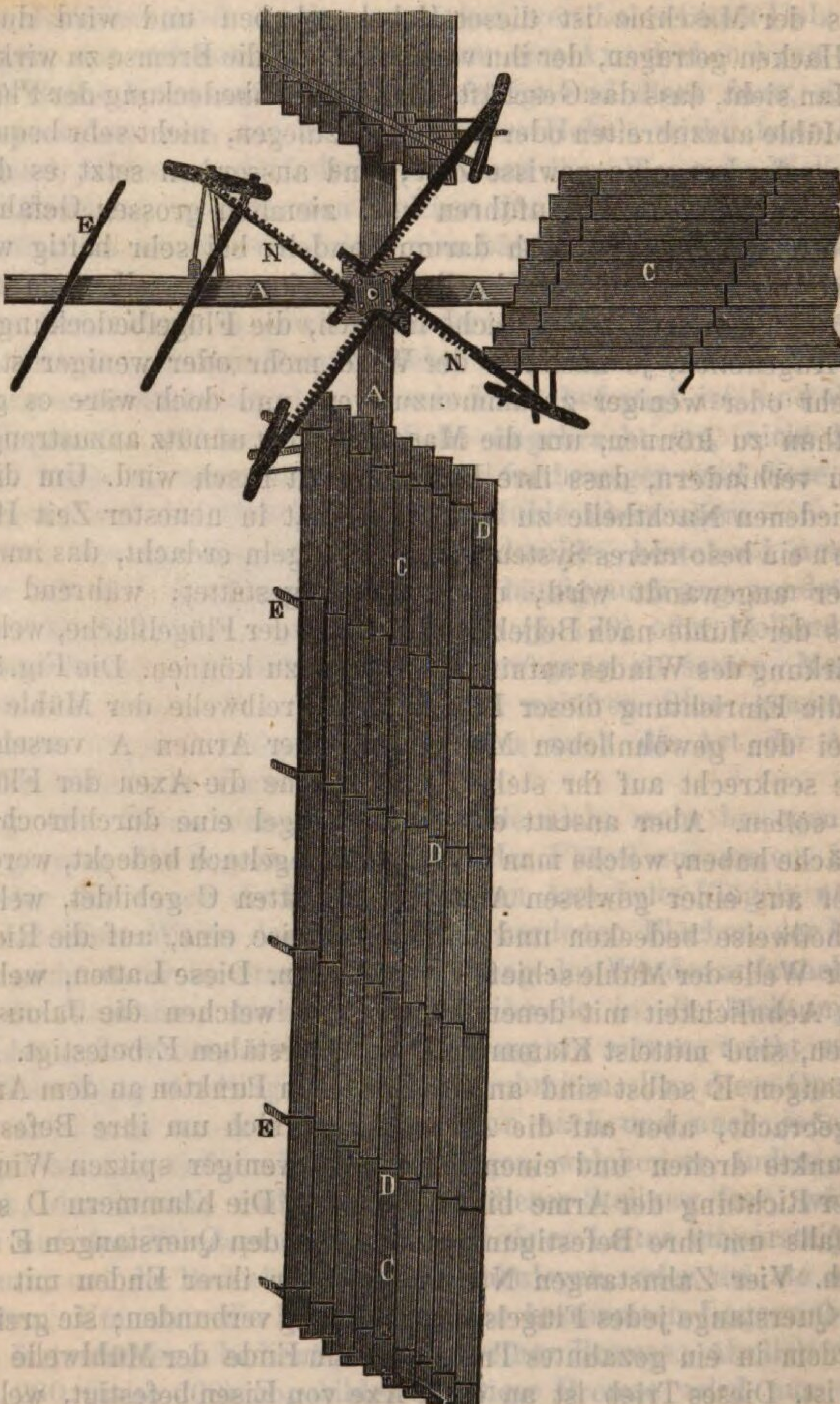
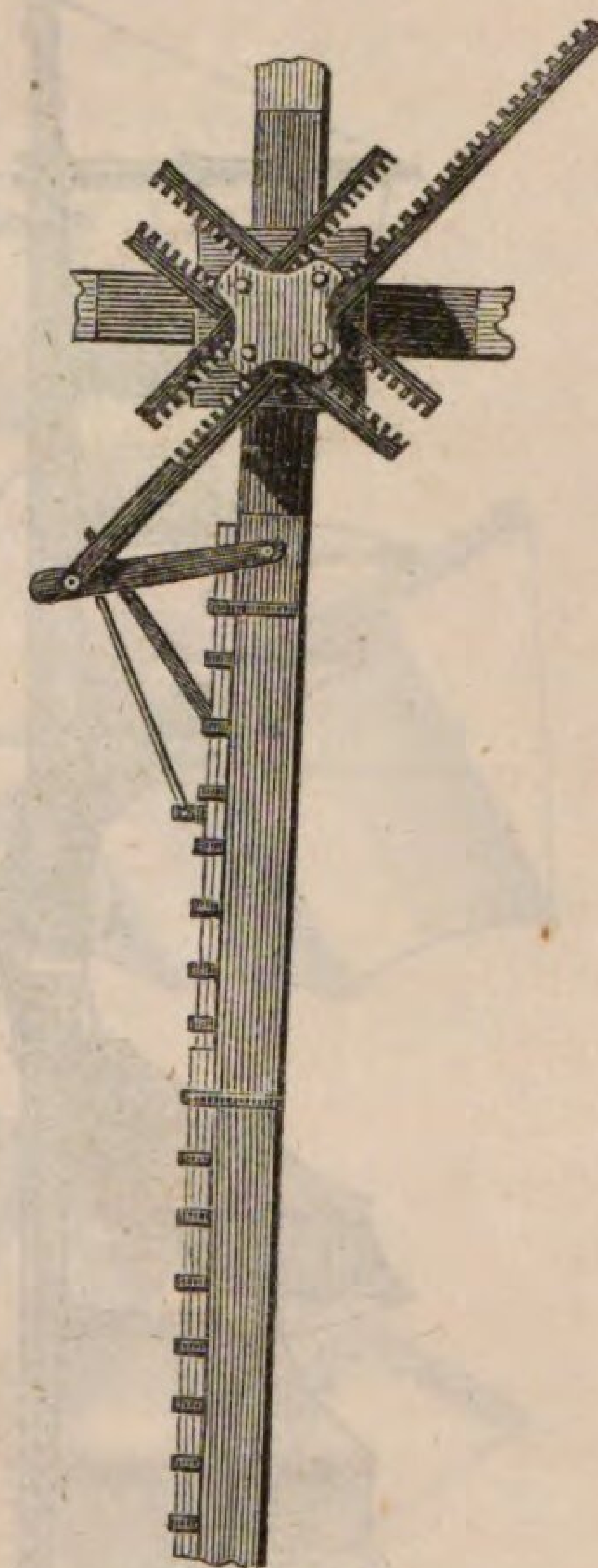


Fig. 535.

befestigten Trieb eine Rotationsbewegung in dem einen oder anderen Sinn. Dadurch werden die Zahnstangen N eine gewisse Strecke

fortgezogen oder geschoben; in Folge dessen wird die Neigung der Querstangen E gegen die Arme A verändert, woraus folgt, dass sich die Latten C mehr oder weniger bedecken, oder mit anderen Worten, dass die Flügel dem Winde eine Fläche von grösserer oder geringerer Breite darbieten. Indem man die Kurbel in passendem Sinne und um eine hinreichende Grösse dreht, gelangt man sogar dazu, dass sich die Latten C vollständig überdecken, sodass sich die Flügel so zeigen, als wenn sie blos auf ihre Arme reducirt wären (Fig. 536).


Fig. 536.

Man sieht, dass das Ausbreiten und Zusammenlegen der Berton'schen Flügel mit der grössten Leichtigkeit im Innern der Mühle und selbst während des Gangs der Maschine ausgeführt werden kann. Man kann also ohne Mühe und so oft als man will die Breite der Flügel in Verhältniss zur Geschwindigkeit des Windes setzen, welcher auf sie wirkt. Indessen zeigt auch dieses System einen Fehler, welcher darin besteht, dass die Fläche jedes Flügels seiner ganzen Länge nach eine gleiche Neigung zur Richtung des Windes hat. Nach Dem, was wir oben gesagt haben, werden also die äussersten Theile der Flügel nur einen geringen Theil der Wirkung des Windes aufnehmen, wenn sie überhaupt eine solche empfangen. Bei gleicher Oberfläche entwickeln also die Berton'schen Flügel weniger Arbeit als diejenigen, deren Fläche in ihren verschiedenen Punkten eine verschiedene Neigung gegen die Treibwelle hat.

Man hat gefunden, dass der Gang einer Windmühle, bei welchem sie die grösste Menge von Arbeit entwickelt, derjenige ist, für welchen die Anzahl der Umdrehungen der Flügel in der Minute gleich der doppelten Zahl von Metern ist, welche der Wind in einer Secunde durchläuft.

§. 423. Seit einer gewissen Reihe von Jahren hat sich Herr Amédée Durand viel mit der Aufgabe beschäftigt, die Kraft des Windes zur Bewegung von Pumpen, die zum Heben von Wasser bestimmt sind, nutzbar zu machen. Die Fig. 537 und 538 zeigen

den Apparat, bei welchem er zuletzt stehen geblieben ist, und welcher ausgezeichnete Resultate ergeben hat.

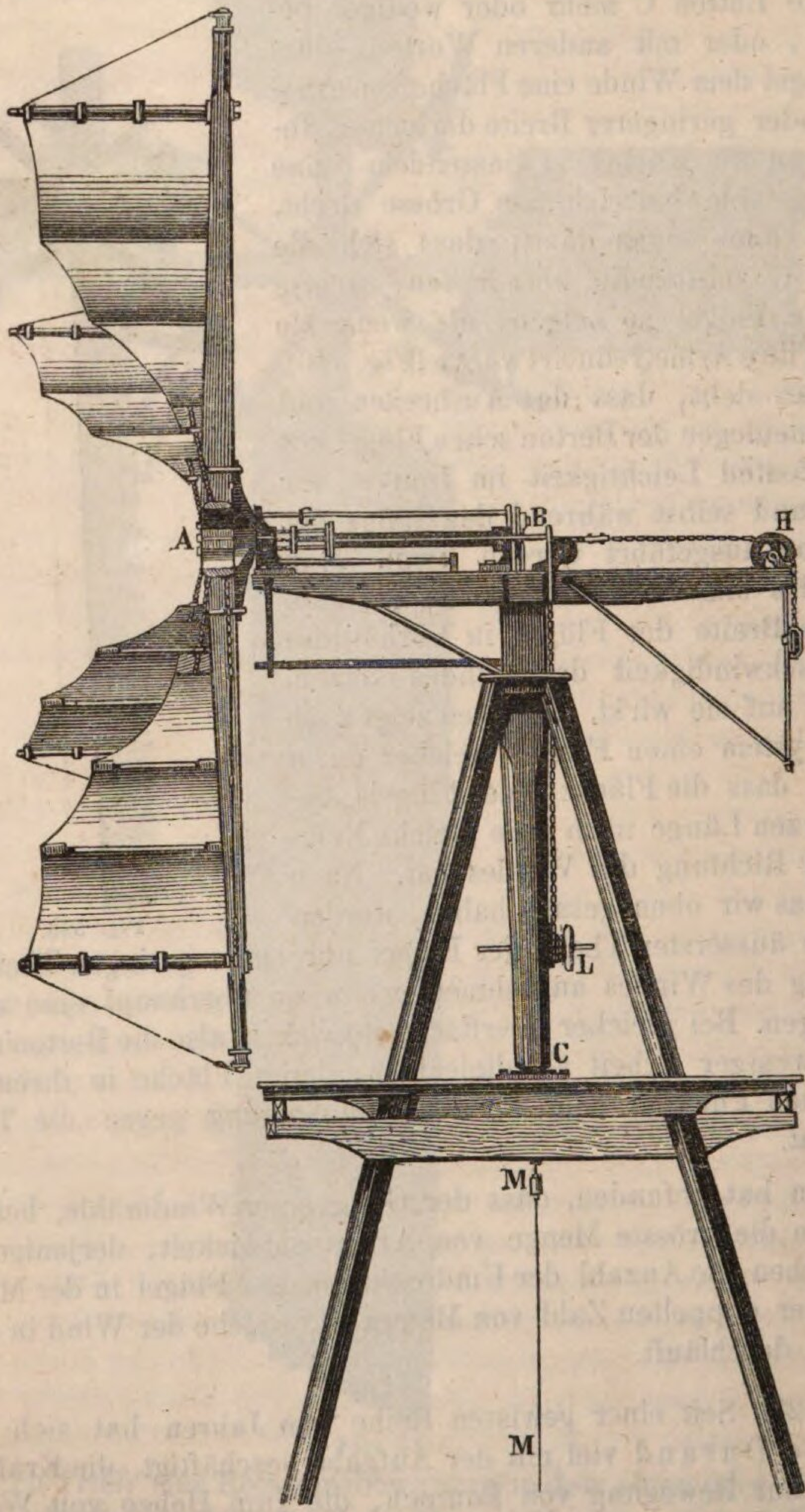


Fig. 537 (Masstab 11 : 1000).

Das Rad, welches direkt die Wirkung des Windes empfängt, wird aus sechs Flügeln gebildet; dieses Rad ist an dem Ende einer

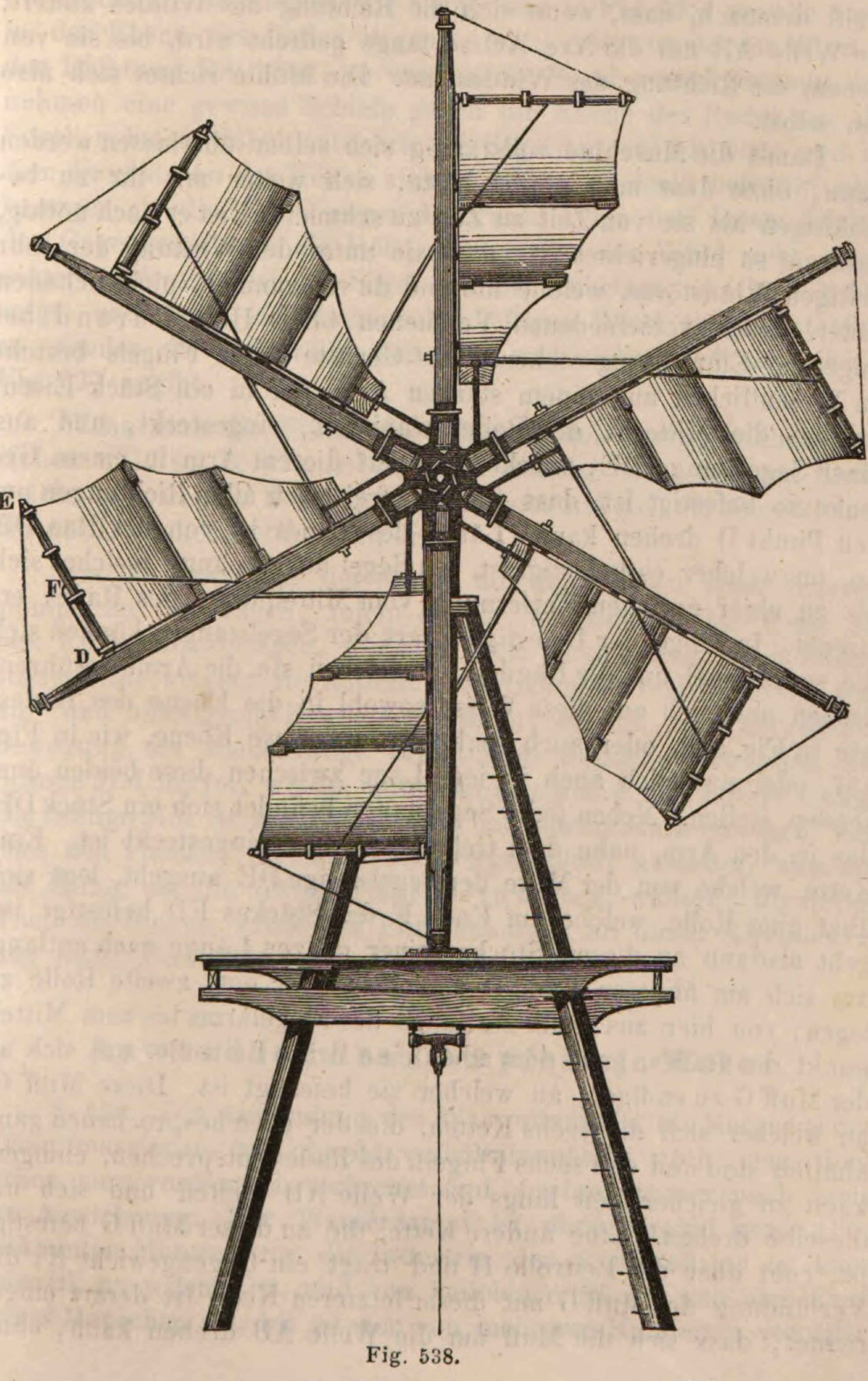


Fig. 538.

horizontalen Welle AB befestigt, und das Ganze ist um eine vertikale Welle BC beweglich. Wenn diese Windmühle in Thätigkeit ist, so bläst der Wind in der Richtung von B nach A. Man begreift demnach, dass, wenn sich die Richtung des Windes ändert, die Welle AB um die Axe AC so lange gedreht wird, bis sie von Neuem die Richtung des Windes hat. Die Mühle richtet sich also von selbst.

Damit die Maschine vollständig sich selber überlassen werden kann, ohne dass man nöthig hätte, sich weiter mit ihr zu beschäftigen als sie von Zeit zu Zeit zu schmieren, ist es noch nöthig, dass sie so eingerichtet ist, dass sie unter der Wirkung der sehr heftigen Windstösse, welche hie und da vorkommen, nicht Schaden leidet. Nach verschiedenen Versuchen blieb Herr Durand bei folgender Einrichtung stehen. Das Gerüste jedes Flügels besteht im Wesentlichen aus einem starken Arm, der in ein Stück Eisen, welches die Mitte A des Rades einnimmt, eingesteckt, und aus einer Segelstange DE, welche in D auf diesem Arm in einem Gelenke so befestigt ist, dass sie sich frei nach allen Richtungen um den Punkt D drehen kann. Längs des Armes ist von der Raa DE an, an welcher es befestigt ist, ein Segel ausgespannt, welches sich bis zu einer geringen Entfernung vom Mittelpunkt des Rades erstreckt. In Folge der Befestigungsart der Segelstangen können sich die sechs Segel um die Ränder, in welchen sie die Arme berühren, drehen und sich auf diese Weise sowohl in die Ebene des Rades, wie in Fig. 538, oder auch senkrecht auf diese Ebene, wie in Fig. 537, oder natürlich auch in jede Lage zwischen diese beiden äussersten stellen. Neben jeder Segelstange befindet sich ein Stück DF, das in den Arm, nahe dem Gelenke D, fest eingesteckt ist. Eine Kette, welche von der Mitte der Segelstange DE ausgeht, legt sich über eine Rolle, welche am Ende F des Stückes FD befestigt ist, geht alsdann an diesem Stücke seiner ganzen Länge nach entlang, um sich am anderen Ende D desselben über eine zweite Rolle zu legen; von hier aus läuft sie längs des Flügelarms bis zum Mittelpunkt des Rades, geht dort über eine dritte Leitrolle, um sich an der Muff G zu endigen, an welcher sie befestigt ist. Diese Muff G, an welcher sich die sechs Ketten, die der eben besprochenen ganz ähnlich sind und den sechs Flügeln des Rades entsprechen, endigen, kann zu gleicher Zeit längs der Welle AB gleiten und sich um dieselbe drehen. Eine andere Kette, die an dieser Muff G befestigt ist, geht über die Leitrolle H und trägt ein Gegengewicht K; die Verbindung der Muff G mit dieser letzteren Kette ist derart eingerichtet, dass sich die Muff um die Welle AB drehen kann, ohne

die Kette um sich selber zu drehen. Die Wirkung des Gegengewichtes K sucht fortwährend die Muff G gegen das Ende B der Welle AB zu ziehen und folglich die verschiedenen Segelstangen DE an die Stücke DF anzulegen, wie man diess in Fig. 538, wo alle Segel in der Ebene des Rades liegen, sieht. Aber wenn der Wind in der Richtung BA bläst, so werden die Segel zurückgedrückt und nehmen eine gewisse Schiefe gegen die Ebene des Rades an; die Segel nehmen dabei natürlich die Segelstangen mit fort, und indem dieselben an den Ketten ziehen, welche an ihnen befestigt sind, bewegen sie die Muff G gegen den Punkt A hin und heben folglich das Gegengewicht in die Höhe. Je stärker der Wind weht, desto weiter entfernen sich die Segel von der Ruhelage, welche Fig. 538 zeigt; und wenn sie einem sehr heftigen Wind ausgesetzt sind, so wenden sie sich völlig seitwärts und stellen sich so, wie es Fig. 537 angibt.

Wenn man die Flügel der Wirkung des Gegengewichtes entziehen will, so hebt man dasselbe mittelst einer anderen Kette, welche über eine bei B gelegene Rolle geht und sich um einen kleinen Haspel L wickelt, etwas empor.

Um die Bewegung der Mühle auf den Kolben einer Wasserpumpe zu übertragen, reicht es hin, am Ende B der Welle AB eine Kurbel anzubringen, welche, indem sie sich dreht, einer Bleuelstange, mit welcher sie mittelst eines Gelenkes verbunden ist, eine auf- und absteigende Bewegung ertheilt; die hin- und hergehende Bewegung der Bleuelstange bringt eine ähnliche Bewegung der Stange MM hervor, welche unten an dem Kolben der Pumpe endigt. Die Stange MM ist ausserdem oben mit einem Stück versehen, welches den Theilen, die über ihm gelegen sind, gestattet, sich mit der Mühle um die vertikale Axe BC zu drehen, während der übrige Theil der Stange, sowie der Pumpenkolben an dieser Drehbewegung nicht Theil nehmen.

Anwendung des Dampfes als Motor.

§. 424. Die Anwendung des Wasserdampfes als Motor bei den Dampfmaschinen ist, obwohl verhältnissmässig noch neu, doch schon ausserordentlich verbreitet und gewinnt immer noch mehr an Ausdehnung. Der Wasserdampf ist ohne Zweifel unter allen bekannten Motoren für die Industrie der werthvollste; er kann überall, an jedem Ort, und von beliebiger Stärke, von der Kraft eines Menschen an, bis zu der von mehreren Hunderten von Pfer-

den, beschafft werden. Bevor wir jedoch zu der Beschreibung der Apparate und Einrichtungen übergehen, mittelst welcher man die Kraft des Wasserdampfes nutzbar machen konnte, ist es unerlässlich, zuerst einige der wichtigsten Eigenschaften dieses Dampfes zu besprechen, da auf diesen Eigenschaften alles Das, was wir später über die Dampfmaschine sagen werden, beruht.

§. 425. **Eigenschaften des Wasserdampfes.** — Wenn in einem geschlossenen Gefäss eine gewisse Menge Wasser enthalten ist, ohne jedoch dieses Gefäss vollständig auszufüllen, so verwandelt sich immer ein Theil des Wassers in Dampf, welches auch die Temperatur dieses Wassers sein mag. Der so gebildete Dampf verbreitet sich in dem Theil des Gefässes, der nicht vom Wasser eingenommen wird, gleichviel ob dieser Theil anfangs luftleer, oder ob schon ein anderes Gas, wie z. B. die atmosphärische Luft, darin enthalten war. In dem Maasse, als der Dampf sich bildet und sich in dem Raum über dem Wasser ansammelt, wächst seine Spannkraft; aber diese Spannkraft kann eine gewisse Grenze, welche einzig von der Temperatur des Wassers abhängt, nicht überschreiten. Von da an, wo der Dampf diese Grenze, welche man das *Maximum seiner Spannkraft* nennt, erreicht hat, wird kein neuer Dampf mehr entwickelt; man sagt alsdann, der Raum, in welchem er sich befindet, sei mit Wasserdampf *gesättigt*, oder auch wohl, *der Dampf selbst sei gesättigt*. Die Gegenwart von Luft in dem Raum, wo sich der Dampf verbreitet, hat keinen Einfluss auf das Maximum der Spannkraft, von dem wir eben gesprochen haben; diese Luft bestimmt lediglich den Grad der Schnelligkeit, mit welcher sich der Dampf bildet. Wenn der Raum über dem Wasser luftleer, überhaupt leer von jeglicher Materie ist, so verdampft die Flüssigkeit mit ausserordentlicher Schnelligkeit, und der Dampf gewinnt fast augenblicklich seine Maximalspannung; wenn dagegen jener Raum Luft enthält, so bildet sich der Dampf nur allmälig und verbreitet sich ebenso in dem ihm gebotenen Raum, indem er gleichsam zwischen den Molekülen der Luft durchfiltrirt. In diesem letzteren Fall ist die Spannkraft des Gasgemenges, welches sich in Berührung mit dem Wasser befindet, in jedem Augenblick gleich der Summe der Spannkräfte der Luft und des Wasserdampfes, welchen die Luft enthält.

Wenn das Gefäss, welches das Wasser enthält, offen ist und also frei mit der atmosphärischen Luft in Verbindung steht, so verdampft das Wasser gleichfalls; aber indem sich der Wasserdampf fortwährend nach aussen in die freie Luft verbreitet, kann er das

Maximum seiner Spannkraft, welches der Temperatur des Wassers entspricht, nicht mehr erreichen; die Verdampfung dauert also immer fort, bis kein Wasser mehr übrig bleibt. — Die Maximalspannung des Dampfes ist um so grösser, je höher die Temperatur des Wassers ist; die Schnelligkeit, mit welcher sich das Wasser, welches direkt mit der freien Luft in Verbindung steht, in Dampf verwandelt, wächst gleichfalls mit der Temperatur. Wenn die Temperatur so hoch ist, dass die Maximalspannung des Wasserdampfes gleich dem Drucke der atmosphärischen Luft wird, so geht die Verdampfung des Wassers am schnellsten vor sich. In diesem Fall hat der Wasserdampf nicht mehr nöthig, sich nach und nach in die Zwischenräume zwischen den Molekülen der Luft einzudrängen; er hat Kraft genug, um den Druck, welchen die Atmosphäre auf die Oberfläche des Wassers ausübt, zu überwinden und die Luft zurückzudrängen, um sich freien Ausgang nach aussen zu verschaffen. Alsdann bilden sich Dampfblasen in der ganzen Masse der Flüssigkeit und erheben sich gewaltsam und mit Geräusch unter heftiger Bewegung des Wassers bis an die Oberfläche desselben, um in die atmosphärische Luft überzugehen: das Wasser siedet oder kocht. Im Allgemeinen kommt das Wasser allemal dann in's Kochen, wenn die seiner Temperatur entsprechende Maximalspannung des Dampfes nicht kleiner als der Druck ist, welchen die Flüssigkeit an ihrer Oberfläche von Seiten der über ihr stehenden Atmosphäre zu erleiden hat, sei es nun, dass diese Atmosphäre blos von Luft oder einem andern Gas, oder auch von Dampf, oder auch von einem Gemenge beider, in irgend einem Verhältniss, gebildet werde.

§. 426. Wenn eine gewisse Menge Wasserdampf in einem geschlossenen Raum, in welchem sich kein Wasser befindet, enthalten ist, und seine Spannung ist geringer als die Maximalspannung, welche seiner Temperatur entspricht, so verhält sich dieser Dampf, der gewöhnlich überhitzt genannt wird, genau so, wie ein Gas. Wenn man sein Volumen ändert, so ändert sich zu gleicher Zeit seine Spannkraft, und zwar entsprechend dem Mariotte'schen Gesetz (§. 266), vorausgesetzt, dass diese Spannkraft stets geringer bleibt als die Maximalspannung, dass also der Dampf nicht in gesättigten Zustand übergeht. Wenn man aber das Volumen des Dampfes so weit vermindert hat, dass seine Spannkraft gleich der seiner Temperatur entsprechenden Maximalspannung geworden ist, und man fährt von da ab fort, ihn noch weiter zusammenzudrücken, so vergrössert sich seine Spannkraft nicht mehr: sie bleibt gleich der

Maximalspannung, und ein Theil des Wasserdampfes condensirt sich, indem er in den flüssigen Zustand zurückkehrt. Wenn man hierauf den Raum, in welchem sich der Dampf verbreiten kann, wieder vergrössert, so kehrt das vorhin condensirte Wasser wieder in den dampfförmigen Zustand zurück und erhält so die Spannkraft des Dampfes in der Höhe der Maximalspannung, so lange noch etwas Flüssigkeit vorhanden ist; aber von dem Augenblicke an, wo sich alles Wasser wieder in Dampf verwandelt hat, bringt eine neue Vergrösserung des Raumes, welcher ihm geboten wird, eine Verminderung der Spannkraft des Dampfes hervor und dieser nimmt so wieder die Eigenschaften der Gase an.

§. 427. Wenn eine Masse von Dampf in einem Raum enthalten ist, dessen verschiedenen Stellen nicht die nämliche Temperatur haben, so kann seine Spannkraft nicht grösser werden als die Maximalspannung, welcher der niedrigsten Temperatur der verschiedenen Stellen dieses Raumes entspricht. Denn für den Zustand des Gleichgewichts in der Dampfmasse ist erforderlich, dass sie an allen Stellen gleiche Spannkraft besitzt; wenn also das oben Behauptete nicht stattfände, so müsste sich in den Punkten, wo die Temperatur am tiefsten ist, eine gewisse Menge Dampf befinden, dessen Spannkraft die Maximalspannung, welche der Temperatur an diesen Stellen entspricht, überstiege, was nicht möglich ist. Wenn auf irgend eine Weise eine Dampfmasse in Verbindung mit einem Raum gesetzt wird, dessen Temperatur einer Maximalspannung entspricht, die unterhalb der Spannung dieses Dampfes liegt, so wird dadurch rasch die Condensation eines Theils des Dampfes hervorgebracht, so lange bis der übrig bleibende Dampf den eben angegebenen Bedingungen genügt. Diese Condensation findet genau in dem Punkte statt, wo die Temperatur am niedrigsten ist.

§. 428. Es wurden zahlreiche Versuche angestellt, um das Maximum der Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen zu bestimmen. Wir führen hier unter andern diejenigen von Dulong und Arago an, welche auf sehr weite Grenzen ausgedehnt worden sind und in neuerer Zeit von Regnault wiederholt wurden. Die folgende Tabelle ist ein Auszug aus den Resultaten, welche von diesem letzteren Gelehrten erhalten wurden; sie gibt das Maximum der Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes für die Temperaturen von 10 zu 10°, von 0° an bis 230° C. Die Spannungen sind ausgedrückt durch die Höhe der Quecksilbersäule, welcher sie das Gleichgewicht halten.

Temperatur.	Spannkraft des Wasser-Dampfes.	Temperatur.	Spannkraft des Wasser-Dampfes.	Temperatur.	Spannkraft des Wasser-Dampfes.
0° C.	0,0046 m	80° C.	0,3546 m	160° C.	4,6516 m
10°	0,0092	90°	0,5254	170°	5,9617
20°	0,0174	100°	0,7600	180°	7,5464
30°	0,0315	110°	1,0754	190°	9,4427
40°	0,0549	120°	1,4913	200°	11,6890
50°	0,0920	130°	2,0303	210°	14,3248
60°	0,1488	140°	2,7176	220°	17,3904
70°	0,2331	150°	3,5812	230°	20,9264

Man sieht aus dieser Tabelle, dass das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes mit der Temperatur wächst, und zwar mit einer Schnelligkeit, welche um so grösser wird, je höher die Temperatur steigt. Zugleich wird man auch bemerken, dass die Maximalspannung des Wasserdampfes bei 100° durch eine Quecksilbersäule von $0^m,76$, d. h. von der Höhe gemessen wird, welche dem normalen Druck der freien atmosphärischen Luft entspricht (§. 262); diess kann auch nach Dem, was wir soeben bezüglich des Siedens gesagt haben, gar nicht anders sein; denn die Temperatur von 100° C. ist eben diejenige, bei welcher das Wasser unter einem Drucke, der durch eine Quecksilbersäule von $0^m,76$ gemessen wird, kocht.

Da die Spannkraft des Dampfes bei den Dampfmaschinen gewöhnlich in Atmosphären (§. 262) angegeben wird, so ist es wichtig die Temperatur zu kennen, für welche das Maximum der Spannkraft des Dampfes gleich einer gegebenen Zahl von Atmosphären ist. Desshalb geben wir hier noch die folgende Tabelle, welche aus den von Regnault erhaltenen Resultaten abgeleitet ist, und welche die Temperaturen enthält, die den Spannungen von 1 bis 28 Atmosphären entspricht.

Spannkraft des Dampfes.	Temperatur.	Spannkraft des Dampfes.	Temperatur.
Atmosph.		Atmosph.	
1	100°,0 C.	15	198°,0 C.
2	120,6	16	201,9
3	133,9	17	204,9
4	144,0	18	207,7
5	152,2	19	210,4
6	159,2	20	213,0
7	165,3	21	215,5
8	170,8	22	217,9
9	175,8	23	220,3
10	180,3	24	222,5
11	184,5	25	224,7
12	188,4	26	226,8
13	192,1	27	228,9
14	195,5	28	230,9

§. 429. Der Uebergang des Wassers in den dampfförmigen Zustand erfordert eine bedeutende Menge von Wärme, welche lediglich dazu angewendet wird, die Aenderung des Aggregatzustandes hervorzubringen, ohne dass die Temperatur dabei erhöht wird; diese Wärme wird in der Physik gebundene Wärme des Wasserdampfes genannt und durch diejenige Menge Wärme, als Einheit, gemessen, welche ein Kilogramm Wasser nöthig hat, um von 0° bis 1° C. erwärmt zu werden. Wenn hierauf der Dampf sich wieder condensirt und in den flüssigen Zustand zurückkehrt, so wird dieselbe Menge Wärme wieder frei und macht sich durch die Erhöhung der Temperatur der Körper fühlbar, mit welchen dieser Dampf in Berührung ist. Es folgt daraus, dass mehrere der Erscheinungen, welche wir oben angegeben haben, nicht ganz so einfach vor sich gehen, als man auf den ersten Anblick glauben könnte; denn die Verdampfung des Wassers, sowie die Condensation des Dampfes suchen immer eine bedeutende Veränderung der Temperatur hervorzubringen.

Eine Wassermasse, welche schneller oder langsamer verdampft und nicht in Verbindung mit einer Wärmequelle steht, erfährt nothwendig eine Erniedrigung ihrer Temperatur. Die Maximalspannung

des Dampfes, welcher sich über der Flüssigkeit bildet, ist also nicht diejenige, welche der Temperatur entspricht, die sie anfangs besass; sie ist geringer, weil die Flüssigkeit in dem Maasse, als die Verdampfung stattfindet, abgekühlt wird. Eine gewisse Menge Wasser, die eine Temperatur von 100° C. hat, wird in's Kochen kommen, wenn sie mit der freien atmosphärischen Luft in Verbindung steht; aber das Kochen wird sofort wieder aufhören, weil die Temperatur der Flüssigkeit in Folge der Dampfbildung rasch unter 100° herabsinkt. Um also das Kochen zu unterhalten, ist es nothwendig, der Wassermasse fortwährend neue Mengen Wärme zuzuführen; und die Menge des Dampfes, welcher sich in einer gegebenen Zeit bildet, ist mehr oder weniger gross, je nachdem die Menge der Wärme, welche in derselben Zeit dem Wasser wieder ersetzt wird, grösser oder kleiner ist.

Man sieht daraus, dass es von grosser Wichtigkeit ist, die Menge der Wärme zu kennen, die zur Verdampfung einer bestimmten Wassermasse erforderlich ist, und zwar für die verschiedenen Temperaturen, bei welchen man die Verdampfung ausführen kann. Wir geben hier desshalb noch die folgende Tabelle, die wie die anderen den Untersuchungen entnommen ist, welche Regnault über die Eigenschaften des Wasserdampfes angestellt hat.

Temperatur des gesättigten Dampfes	Gebundene Wärme	Gesammte Wärme	Temperatur des gesättigten Dampfes	Gebundene Wärme	Gesammte Wärme
0° C.	606,5	606,5	120° C.	522,3	643,1
20°	592,6	612,6	140°	508,0	649,2
40°	578,7	618,8	160°	493,6	655,3
60°	564,7	624,8	180°	479,0	661,4
80°	550,6	630,9	200°	464,3	667,5
100°	536,5	637,0	220°	449,4	673,6

Die zweite Columne dieser Tabelle enthält die Menge der Wärme, welche nothwendig ist, um ein Kilogramm Wasser aus dem flüssigen Zustand in den des gesättigten Dampfes überzuführen, ohne dass dabei eine Aenderung der Temperatur stattfindet, welche nach wie vor der Verdampfung die gleiche, nämlich die in der ersten Columne angegebene, ist. Die dritte Columne gibt die Menge Wärme,

welche nothwendig ist, um ein Kilogramm Wasser von 0° in gesättigten Dampf von der Temperatur zu verwandeln, die in der ersten Columne angegeben ist. Die Einheit der Wärme ist, wie oben schon gesagt, die Wärmemenge, welche nothwendig ist, um ein Kilogramm Wasser von 0° bis 1° C. zu erwärmen.

§. 430. **Geschichte der Erfindung der Dampfmaschinen.** — Die Erfindung der Dampfmaschinen ist sicher die wichtigste Erfindung der neueren Zeit, und es ist sehr natürlich, dass man genau untersucht hat, wem die Ehre derselben zuzuschreiben sei. Wir wollen in Kürze die hauptsächlichsten Resultate dieser geschichtlichen Untersuchungen anführen und folgen dabei der interessanten Abhandlung, welche Arago über diesen Gegenstand im „Annuaire du Bureau des longitudes" (1829, 1830 und 1837)*) veröffentlicht hat.

Die Äolipila, erfunden von Heron von Alexandrien (120 J. v. Chr.), scheint das erste Beispiel der Anwendung des Dampfes als bewegende Kraft zu sein. Um sich eine Vorstellung von derselben zu machen, reicht es hin, sich des durch die Fig. 505 (Seite 707) dargestellten Reactionsapparates zu erinnern. Bei diesem Apparat bringt der Ausfluss des Wassers durch die passend gekrümmten Röhren eine Rotationsbewegung des Gefässes hervor, welches die Flüssigkeit einschliesst. Wenn dieses Gefäss Dampf, anstatt Wasser, enthielte, und wenn die Spannkraft dieses Dampfes im Stande wäre, ihn mit gewisser Geschwindigkeit durch die gekrümmten Röhren ausströmen zu lassen, so würde er gleichfalls eine Rotationsbewegung hervorbringen: diess ist das Princip der Äolipila. Die von Heron angegebene Einrichtung ist etwas anders. Sein Apparat besteht in einer hohlen Metallkugel, die sich um einen horizontalen Durchmesser drehen kann und mit zwei passend gekrümmten Röhren versehen ist, die von den Enden anderer Durchmesser, senkrecht auf den ersteren, ausgehen. Wie dem aber auch sei, die Maschine Heron's hat nichts mit unseren Dampfmaschinen gemein und kann nicht einmal als ein erster Versuch derselben betrachtet werden; die Art der Wirkung des Dampfes ist eine wesentlich verschiedene.

Salomon de Caus, ein geborener Franzose, ist der erste (1615), welcher gezeigt hat, wie der Wasserdampf durch Druck wirken könne, um eine Erhebung des Wassers hervorzubringen. Der Apparat, welchen er beschrieben hat, besteht aus einem Ballon A

*) Man sehe auch „Arago's sämmtliche Werke", deutsche Ausgabe von Dr. W. G. Hankel, 5. Band.

von Kupfer (Fig. 539), der mit zwei Röhren B,C versehen ist, von denen die eine B zur Einfüllung des Wassers in den Ballon und die andere C für den Austritt der Flüssigkeit unter der Wirkung des Dampfes dient. Die Röhre B endigt oben in einen Trichter D und ist mit einem Hahn E versehen. Die Röhre C geht fast bis auf den Boden des Ballons herab. Wenn man Wasser in den Ballon gegossen hat, bis dessen Niveau ungefähr bei F steht, so schliesst man den Hahn E und stellt den Apparat über ein Feuer. Der Dampf, welcher sich dadurch entwickelt, kann durch die geschlossene Röhre B nicht austreten; ebensowenig kann er durch die Röhre C entweichen, da dieselbe bis unter das Niveau des Wassers herabreicht; er gewinnt also oben in dem Ballon eine immer grössere Spannkraft, welche das Wasser nöthigt, in der Röhre C in die Höhe zu steigen und aus derselben in der Form eines Strahles hervorzuspringen.

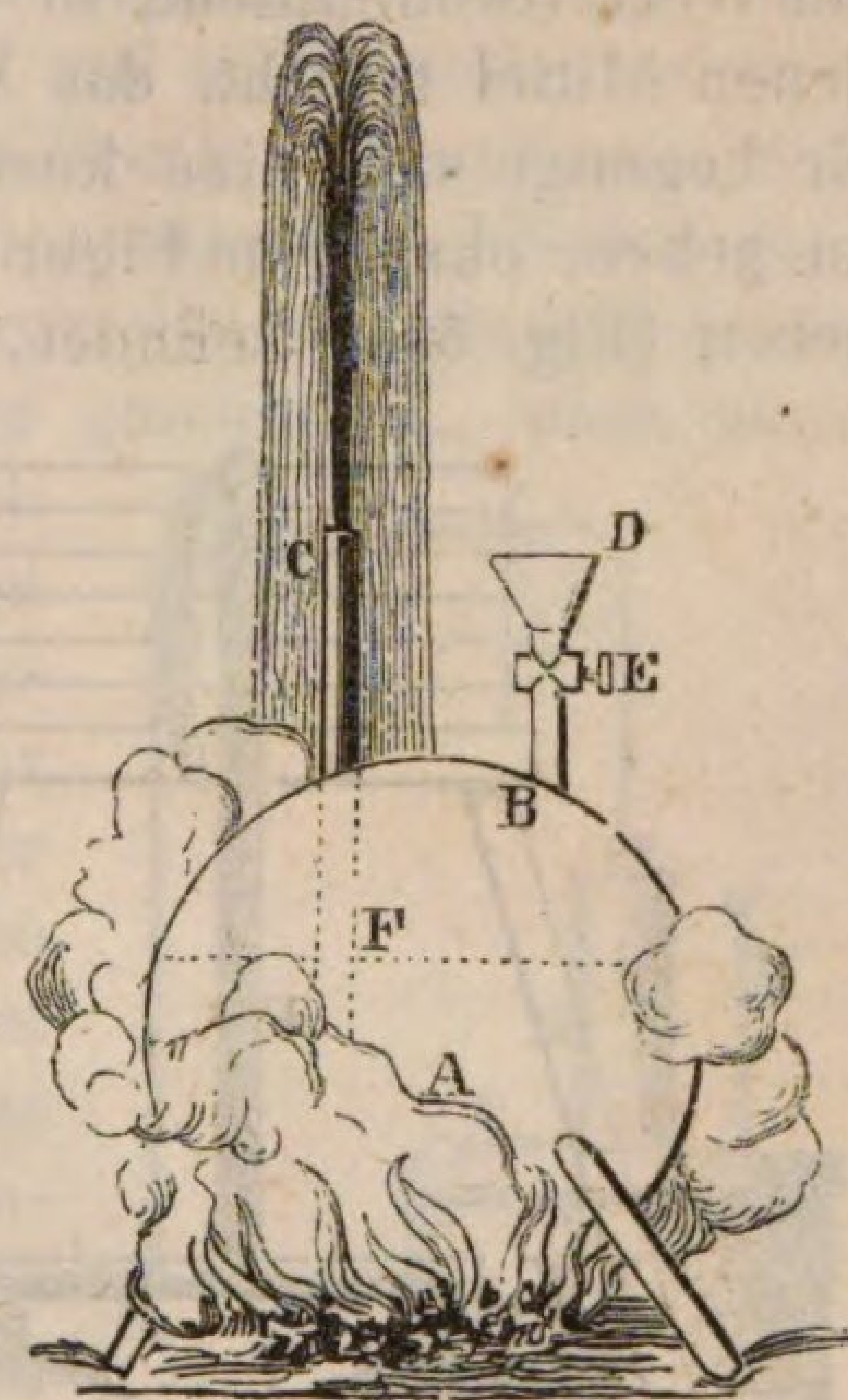


Fig. 539.

Der Italiener Branca hat (1629) eine Maschine beschrieben, welche, was die Wirkungsweise des Dampfes betrifft, viel Aehnlichkeit mit der Äolipila von Heron hat. Ein Ballon A (Fig. 540), in welchen Wasser eingefüllt wird, befindet sich auf einem Roste B; der gebildete Dampf entweicht durch eine Röhre C und stösst gegen die Schaufeln eines Rades D; die durch die Wirkung des Dampfes hervorgebrachte Drehung des Rades kann mittelst einer Kurbel E, die an einem der Enden seiner Axe angebracht ist, zur Hervorbringung irgend einer Nutzarbeit verwendet werden. Die Maschine von Branca kann jedoch ebensowenig wie die Äolipila Heron's als der Ursprung der Dampfmaschine angesehen werden.

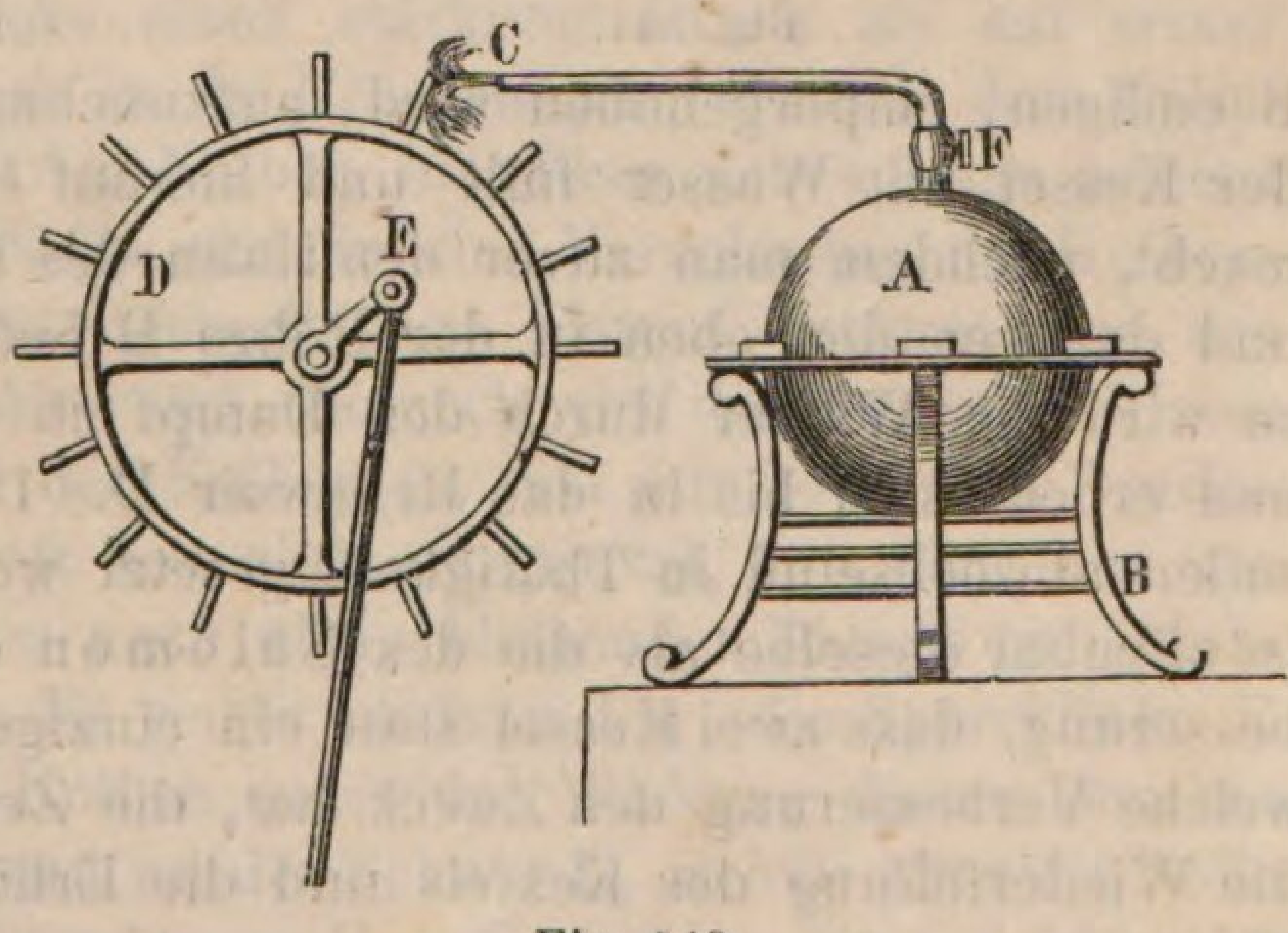


Fig. 540.

Ein Engländer, der Marquis von Worcester, hat (1663) ein Werk veröffentlicht, in welchem er von einem, von ihm erfundenen Mittel spricht, das Wasser mit Hülfe des Feuers zu heben. Er begnügt sich eine kurzgefasste Beschreibung seiner Maschine zu geben, ohne eine Figur beizufügen. Diejenige, welche sich hier neben (Fig. 541) befindet, ist nach dieser kurzen Beschreibung angefertigt. Zwei kugelförmige Dampfkessel A,A sind nebeneinander eingemauert; in jedem dieser Kessel geht eine Röhre B bis nahe an den Boden herab; in diesen Röhren soll das im Kessel enthaltene Wasser in die Höhe steigen; zwei Trichter C, die mit Hähnen versehen sind, dienen dazu, Wasser in die Kessel einführen zu können; oben befindet sich ein Reservoir D, das dazu bestimmt ist, das Wasser, welches in der Röhre E, in welcher sich die beiden aus den Kesseln kommenden Röhren B endigen, emporgehoben wird, aufzunehmen. Wenn man einen der Kessel mit Wasser füllt und hierauf Feuer unter denselben macht, nachdem man zuvor den Hahn des Trichters C geschlossen und dagegen den oben in der Röhre B befindlichen geöffnet hat, so wird das Wasser durch den Dampf in die Röhre E gedrückt und erhebt sich bis in das Reservoir D. Die beiden Dampfkessel sollen abwechselnd in Thätigkeit gesetzt werden. Diese Maschine ist offenbar dieselbe als die des Salomon de Caus, mit der Verbesserung, dass zwei Kessel statt ein einziger angewendet werden, welche Verbesserung den Zweck hat, die Zeitverluste welche durch die Wiederfüllung des Kessels und die Erhitzung des eingefüllten Wassers veranlasst werden, zu vermeiden.

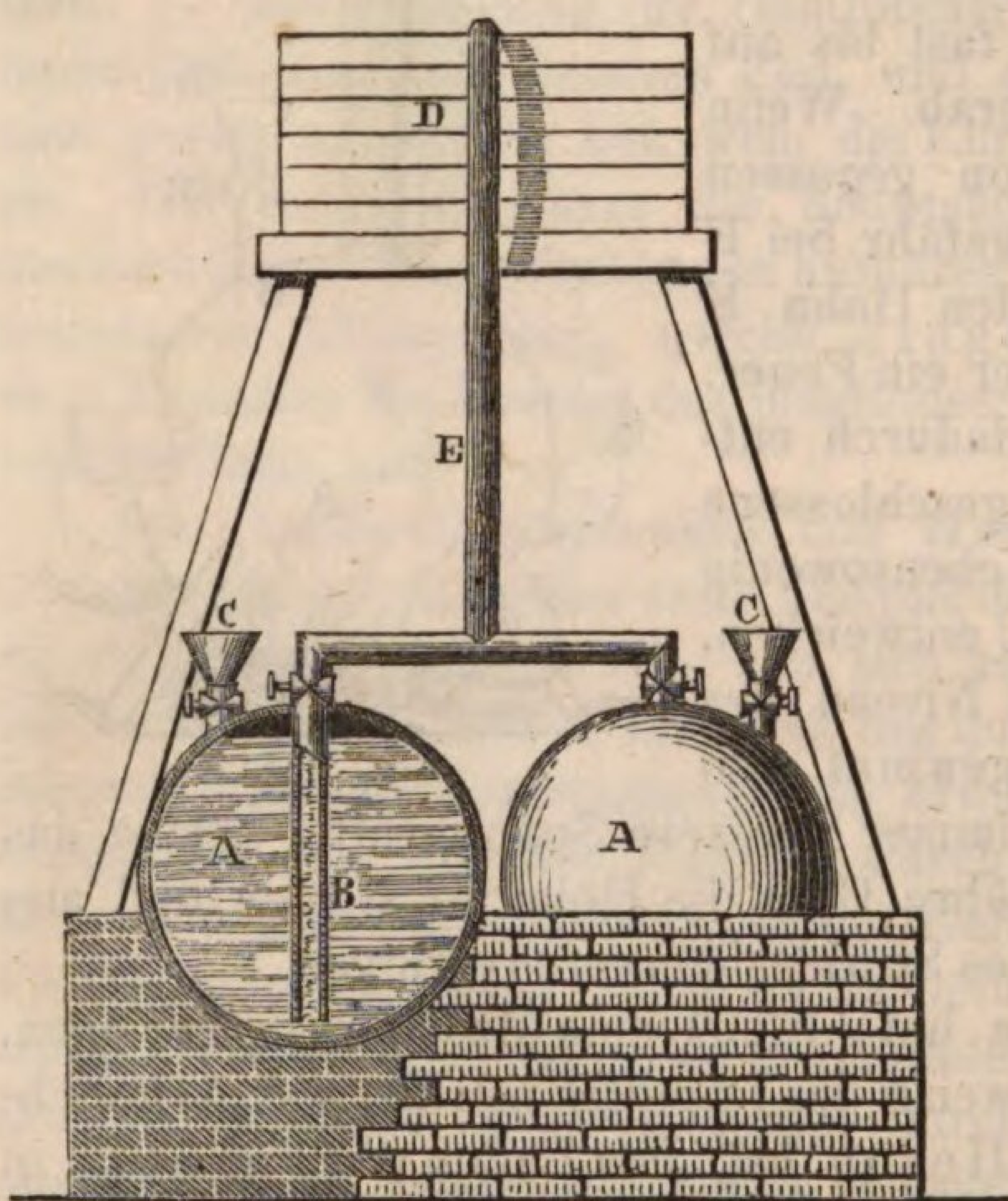


Fig. 541.

§. 431. Bei den Maschinen von Salomon de Caus und des Marquis von Worcester wird ein Theil des in die Kessel gebrachten Wassers in Dampf verwandelt, und dieser Dampf wirkt durch seinen Druck auf die Oberfläche des übrigen Wassers, um

es in der Steigröhre in die Höhe zu heben. Denis Papin, geboren zu Blois, später Professor der Mathematik in Marburg, war der erste, der die Idee hatte, den Dampf auf einen Kolben wirken zu lassen, der dazu bestimmt ist, seinen Druck aufzunehmen, um ihn zur Ueberwindung eines Widerstandes anzuwenden. Sehen wir, worin die von Papin im Jahre 1690 vorgeschlagene Maschine besteht. Ein Cylinder A (Fig. 542), unten geschlossen, oben aber offen, enthält einen Kolben, welcher sich längs der ganzen Höhe desselben bewegen kann. Man bringt den Kolben in den Cylinder erst dann ein, nachdem man zuvor in letzteren eine geringe Menge Wasser eingegossen hat. Eine Oeffnung C, welche in dem Kolben angebracht ist, gestattet ihn zu senken, bis seine untere Fläche das im Cylinder enthaltene Wasser berührt, indem sie die unter ihm befindliche Luft frei entweichen lässt. Nachdem diess geschehen ist, schliesst man die Oeffnung C mittelst eines Stabes M und macht Feuer unter dem Boden des Cylinders A. Indem sich das Wasser mehr und mehr erwärmt, erreicht es bald eine Temperatur, für welche das

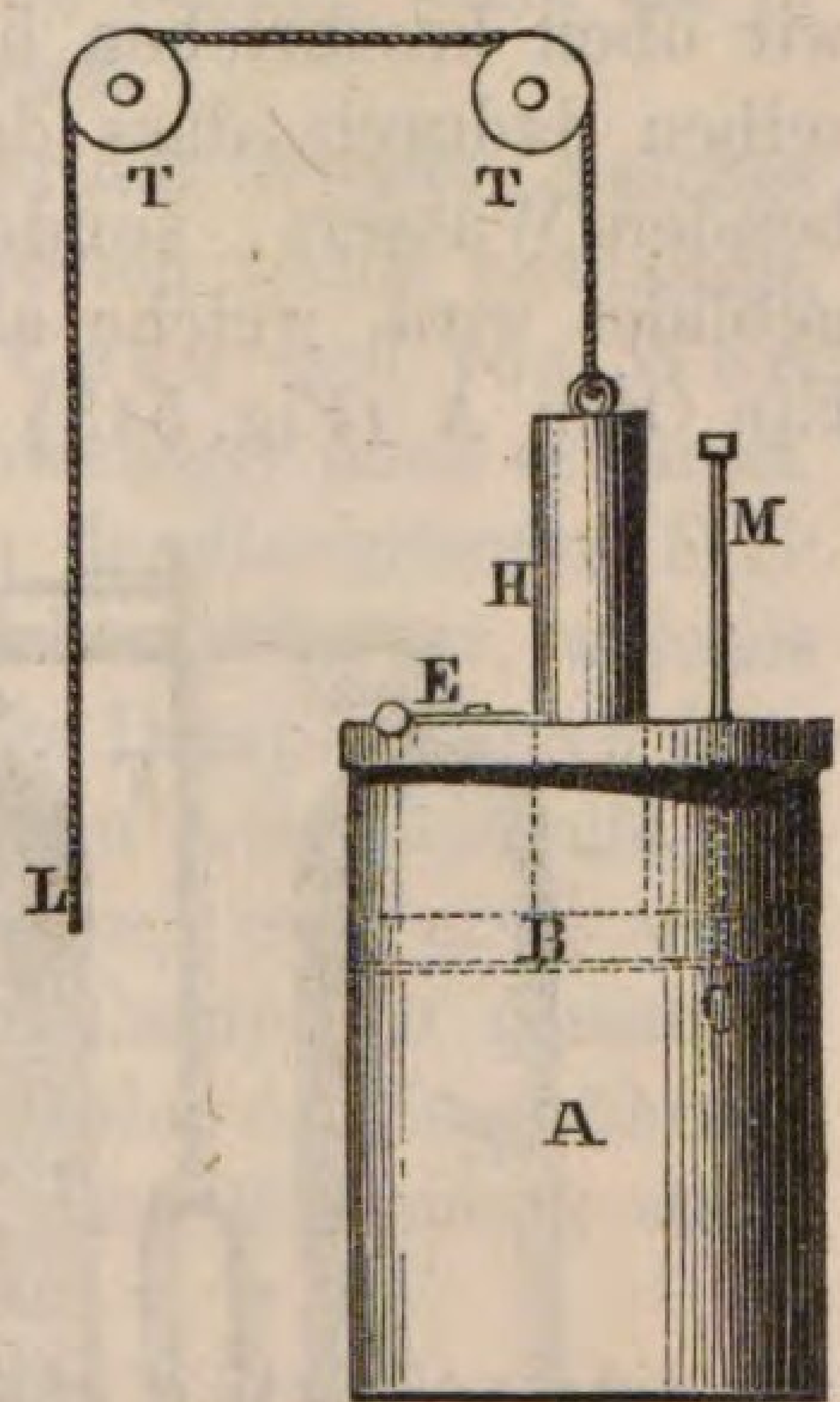


Fig. 542.

Maximum der Spannkraft des Dampfes den Druck der atmosphärischen Luft übersteigt (§. 428); alsdann erleidet der Kolben B auf seiner unteren Fläche einen stärkeren Druck als auf seiner oberen und muss folglich in die Höhe steigen. Oben in dem Cylinder angekommen, wird der Kolben in seiner neuen Lage mittelst einer Sperrklinke E, welche man in eine Verzahnung der Kolbenstange H eingreifen lässt, festgehalten; hierauf entfernt man das Feuer, der Cylinder erkältet sich, dadurch wird der Dampf in seinem Innern condensirt, und der Kolben ist fast nur noch dem Drucke der atmosphärischen Luft von oben ausgesetzt, von dem nur ein geringer Theil durch den noch übrig bleibenden Dampf im Gleichgewicht gehalten wird. Es reicht alsdann hin, die Sperrklinke E auszulösen, damit der Kolben unter der Wirkung dieses Druckes niedergeht; und wenn man an der Schnur L, welche über die Rolle T geht und an der Kolbenstange H befestigt ist, ein Gewicht aufhängen würde, so könnte dieses Gewicht durch die hervorgebrachte Bewegung gehoben werden. Man könnte ausserdem dieselbe Operation mit derselben Menge Wasser so oft als man wollte von Neuem beginnen.

Diese Maschine wurde von Papin im Kleinen ausgeführt. Man sieht in ihr bereits das Princip der atmosphärischen Maschinen angewandt, von denen wir bald näher sprechen werden.

§. 432. Der Capitän Savery (1698) ist der Erfinder der ersten Maschine, welche im Grossen zur Hebung von Wasser angewendet wurde. Diese Maschine hat viele Aehnlichkeit mit denjenigen des Salomon de Caus und des Marquis von Worcester, die wir oben beschrieben haben, unterscheidet sich jedoch von denselben dadurch, dass der Dampf nicht aus einem Theil des zu hebenden Wassers, sondern aus einer abgesonderten Wassermasse gebildet wird, welche allein der Wirkung des Feuers ausgesetzt ist. Ein Ofen A (Fig. 543) enthält zwei geschlossene Kessel B,C, die

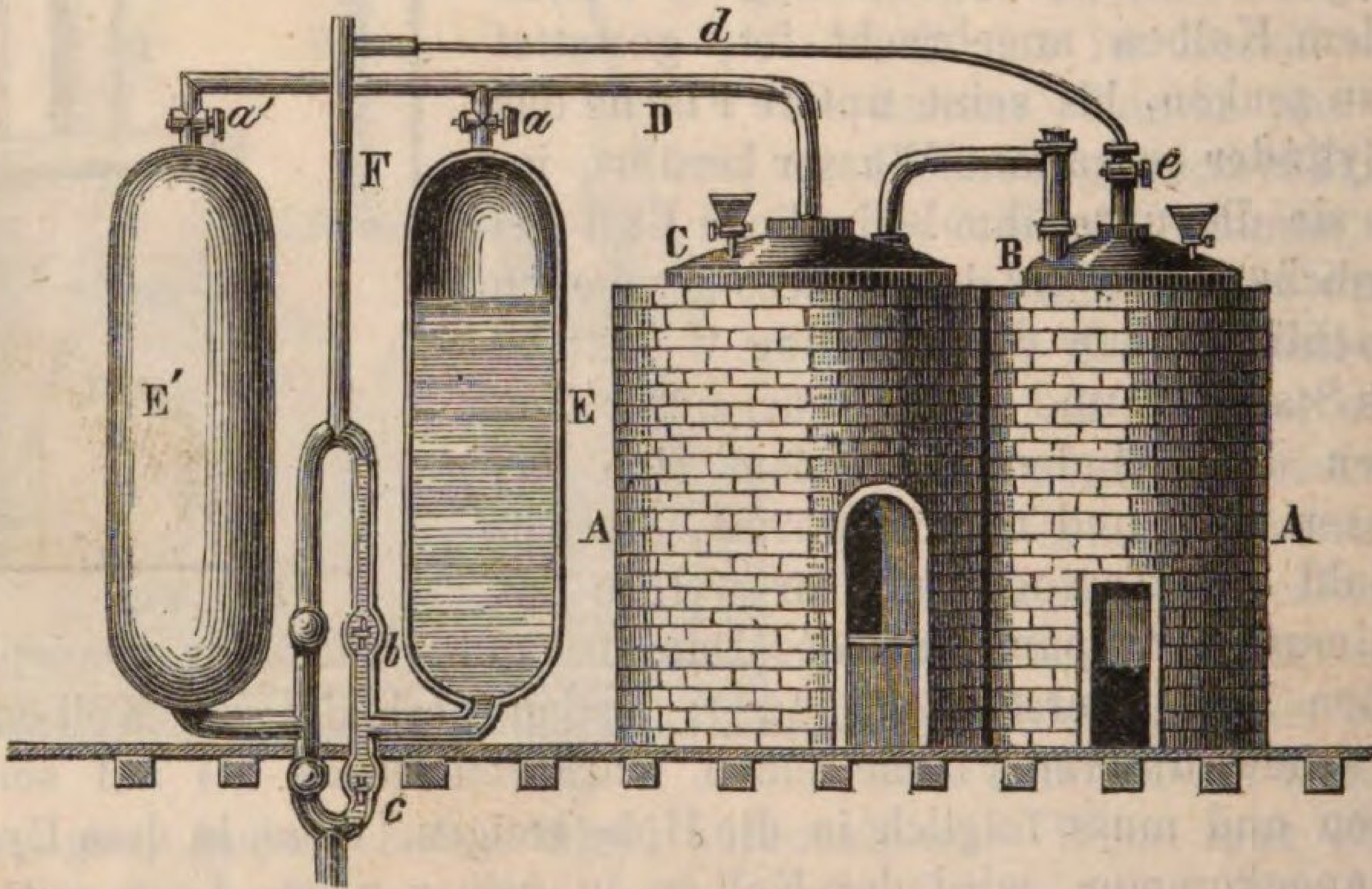


Fig. 543.

miteinander in Verbindung stehen. Der Dampf, welcher sich in dem einen dieser Kessel bildet, gelangt in die Röhre D und kann von da aus in den einen oder anderen der beiden Recipienten E,E' übergehen, je nachdem der Hahn *a* oder der Hahn *a'* geöffnet ist. Wenn diese Recipienten mit Wasser gefüllt sind, so ist klar, dass in dem Moment, wo man den Hahn *a* öffnet, der Dampf auf das in E enthaltene Wasser drückt und es in der Steigröhre F emporsteigen macht, indem es das Ventil *b* öffnet. Wenn der Recipient E auf diese Weise geleert ist, so schliesst man den Hahn *a* und öffnet den Hahn *a'*; alsdann wird das Wasser des Recipienten E' in der Steigröhre F in die Höhe gedrückt. Während dieser Zeit erkaltet der Recipient E, der darin enthaltene Dampf wird condensirt, und der so gebildete leere Raum bringt eine Erhebung

des Wassers aus einem unteren Reservoir zu Stande, das das Ventil *c* öffnet und den Recipienten E auf's Neue anfüllt. Man sieht also, dass es hinreicht, die Hähne *a*,*a'* abwechselnd zu schliessen und wieder zu öffnen, um die Maschine in Thätigkeit zu setzen und darin zu erhalten. Eine Röhre *d*, welche sich von einem Punkte der Steigröhre F aus abzweigt, endigt in einem der Kessel und ist gewöhnlich durch einen Hahn *e* geschlossen. Diese Röhre dient dazu, die Dampfkessel wieder mit Wasser zu füllen, wenn sie in Folge der Dampferzeugung leer geworden sind.

Bei dieser Maschine von Savery ist zwar das Wasser, welches gehoben werden soll, nicht in den Dampfkesseln selbst enthalten, wie es bei denjenigen von Salamon de Caus und von Worcester der Fall ist; aber es wird nichtsdestoweniger doch erwärmt. Sobald der Dampf in Verbindung mit einem der Recipienten E,E' gesetzt ist, wird er in Berührung mit dem kalten Wasser, welches derselbe enthält, condensirt; neue Quantitäten Dampf strömen fortwährend aus den Kesseln herbei und condensiren sich ebenfalls, indem sie das Wasser im Recipienten erwärmen; und erst, wenn dieses Wasser hinreichend warm ist, um dem Dampf zu gestatten, die zur Hebung des Wassers auf die ganze Höhe der Steigröhre F erforderliche Spannkraft zu behalten, kann diese Erhebung stattfinden und der Recipient sich entleeren.

Um diesen grossen Nachtheil der Savery'schen Maschine zu vermeiden, hatte Papin (1707) die Idee, den Dampf nur durch Vermittlung eines, auf dem zu hebenden Wasser schwimmenden Kolbens auf dasselbe drücken zu lassen, wie man es in Fig. 544 sieht. Ein kugelförmiger Dampfkessel steht durch eine Röhre L mit einem Cylinder I in Verbindung, der abwechselnd mit Wasser gefüllt und wieder entleert werden soll. Ein Hahn C gestattet, diese Verbindung nach Belieben herzustellen und wieder zu unterbrechen. Der Kolben H enthält hohle Theile N, vermittelst welcher er auf dem Wasser schwimmen kann; dieser Kolben erhält den Druck des Dampfes auf seiner oberen Fläche und trägt ihn auf die Flüssigkeit über. Das Ventil B lässt das Wasser in den Cylinder I eintreten, und durch das Ventil E kann es wieder aus demselben hinausgeschafft werden. Man sieht oben an dem Dampfkessel ein Ventil, gegen welches sich ein Hebel D stützt, der an seinem freien Ende mit einem Gewichte F belastet ist; es ist diess das Sicherheitsventil, dessen Erfinder gleichfalls Papin ist, und das zum Zweck hat, zu verhindern, dass der Dampf im Kessel eine zu grosse Spannung erhält; man sieht noch ein anderes, ebensolches Ventil G oben an dem Cylinder I. Wir haben schon ein Ventil dieser Art

bei der hydraulischen Presse kennen gelernt; aber es ist diess nur eine Nachahmung des Sicherheitsventils, das bei den Dampfkesseln

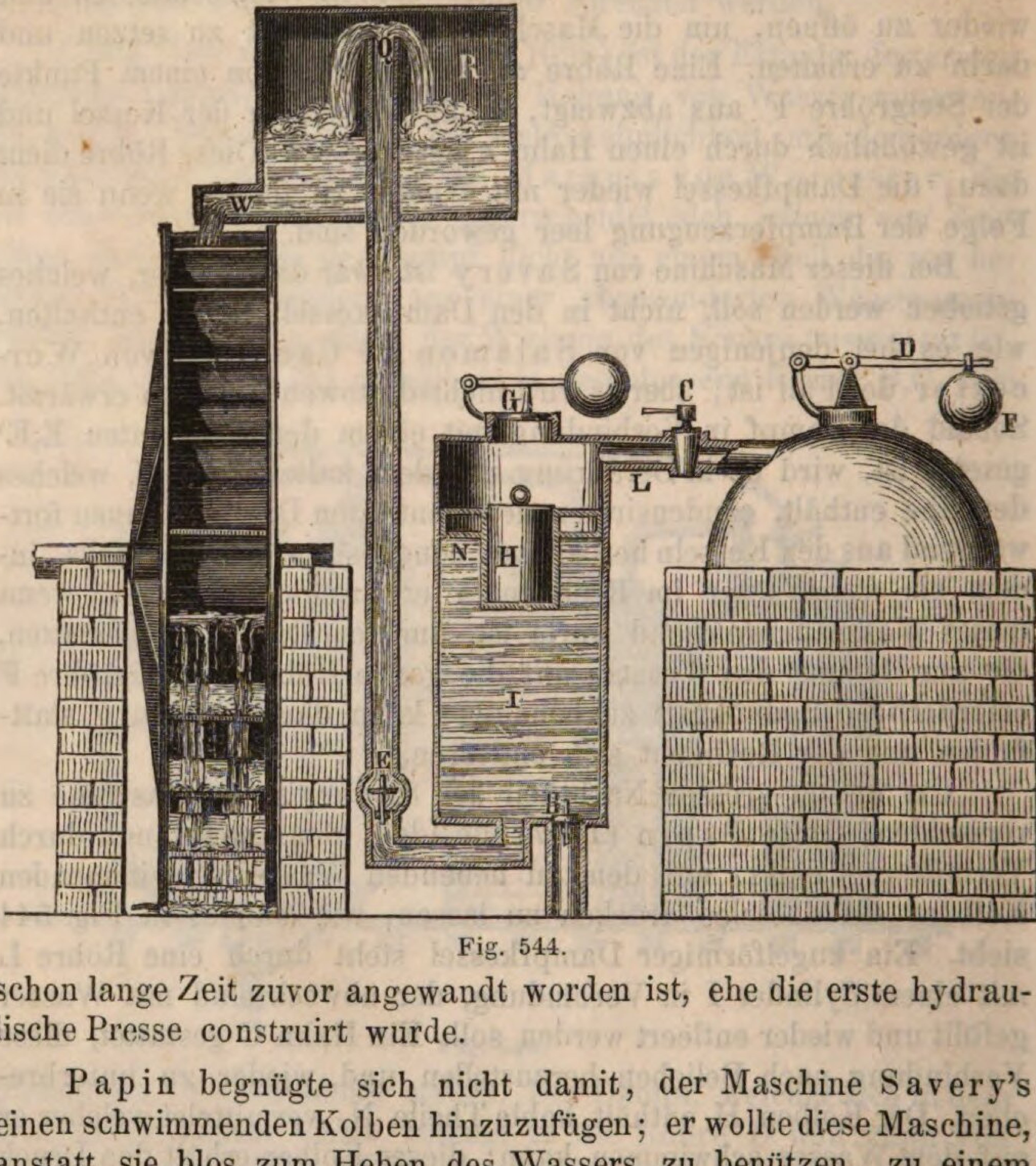


Fig. 544.

schon lange Zeit zuvor angewandt worden ist, ehe die erste hydraulische Presse construirt wurde.

Papin begnügte sich nicht damit, der Maschine Savery's einen schwimmenden Kolben hinzuzufügen; er wollte diese Maschine, anstatt sie blos zum Heben des Wassers zu benützen, zu einem Motor umgestalten, der im Stande sein würde, beliebige Mechanismen zu bewegen. Zu diesem Zwecke liess er ihre Steigröhre bei Q in einem Kasten R endigen, der von allen Seiten geschlossen war, ausgenommen bei W, wo sich eine Oeffnung befand, durch welche die gehobene Flüssigkeit auf ein Wasserrad herabfallen konnte. Das Wasser trat aus dem Kasten R mit einer Geschwindigkeit, welche in Folge der Zusammendrückung der Luft über ihm bedeutend vergrössert wurde, und drehte so das Rad herum, indem es sowohl durch seine Geschwindigkeit als durch sein Gewicht wirkte.

Savary hat angegeben, dass seine Maschine zum Heben des Wassers in Bergwerken benützt werden könne; aber sie konnte dieses Wasser auf keine bedeutende Höhe heben, ohne dass in Folge der starken Spannung, welche der Dampf annehmen muss, Nachtheile mehrerer Art daraus folgten. Das Entweichen des Dampfes durch die ihm gebotenen Ritzen und Zwischenräume, sowie Explosion des Kessels waren zu jener Zeit noch äusserst schwer zu verhindern. Desshalb wurde diese Maschine nur wenig angewandt. Zudem wurden die Modificationen, welche nach dem Vorschlage Papin's daran anzubringen gewesen wären, nicht angenommen.

§. 433. Die erste Dampfmaschine, welche der Industrie wirkliche Dienste geleistet hat, ist die von Newcomen, welche gewöhnlich mit dem Namen der atmosphärischen Maschine bezeichnet wird. Diese Maschine datirt vom Jahre 1705. Sie ist eigentlich nur die Verwirklichung der schon von Papin im Jahre 1690 ausgesprochenen Idee (§. 431).

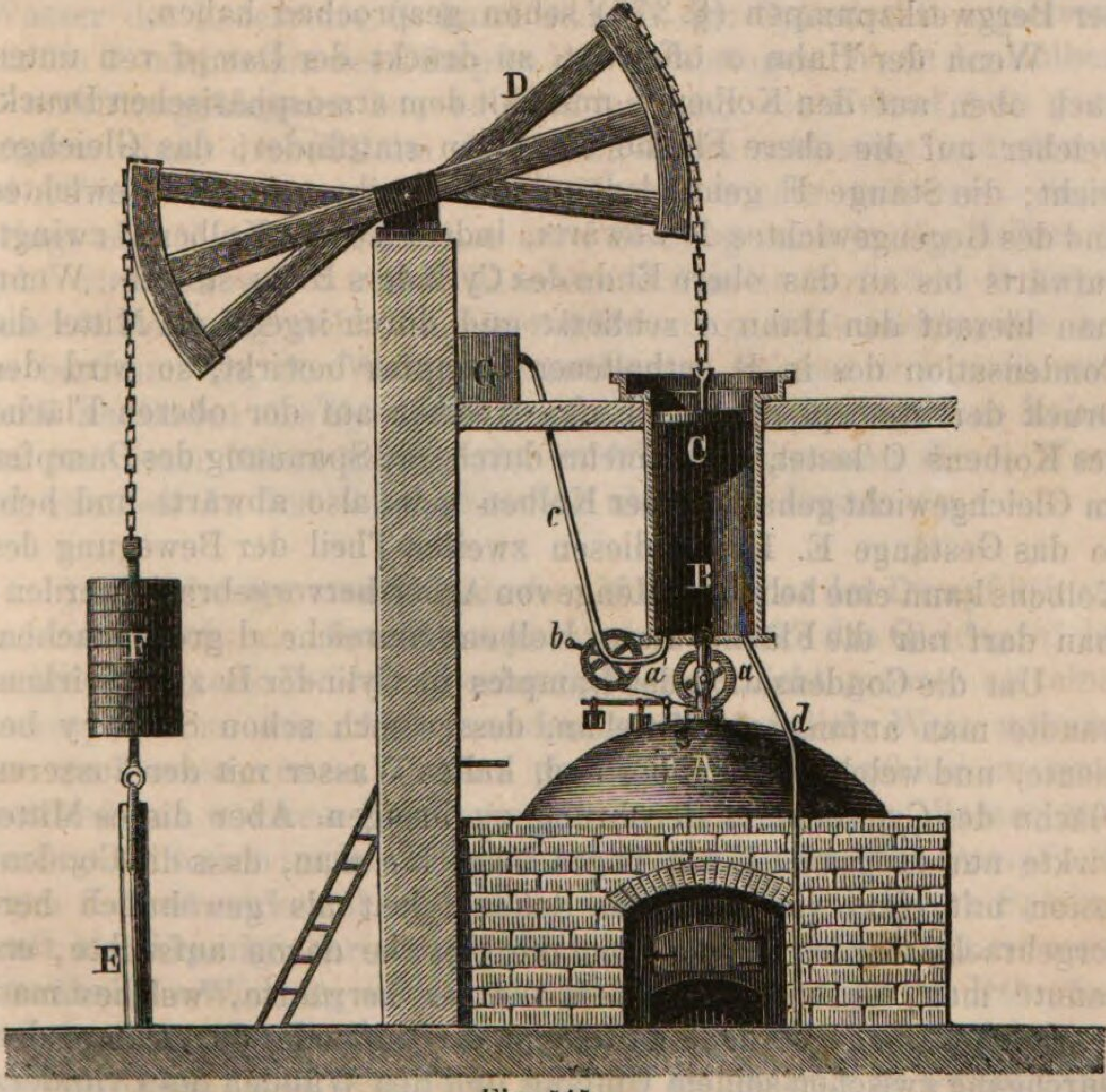


Fig. 545.

Die Fig. 545 zeigt die Einrichtung dieser Maschine, welche zum Heben des Wassers in Bergwerken angewandt wurde und an gewissen Orten sogar heute noch angewandt wird. Ein Kessel A ist dazu bestimmt, den Dampf zu erzeugen; er hat die Form einer Halbkugel, die unten in einen ebenen Boden endigt, und ist mit einem Sicherheitsventil versehen. Der in dem Kessel gebildete Dampf kann durch eine Verbindungsröhre in den oben offenen Cylinder B gelangen. In dieser Röhre ist ein Hahn angebracht, dessen Kopf von einer Art von Rad *a* gebildet wird, und mittelst dessen die Verbindung des Kessels mit dem Cylinder abwechselnd hergestellt und wieder unterbrochen werden kann. Der Kolben C, der sich in dem Cylinder B bewegen kann, ist mittelst einer Kette mit dem einen Ende eines Balanciers D verbunden, der um seine Mitte drehbar ist. Das andere Ende des Balanciers trägt, gleichfalls mittelst einer Kette, eine lange Stange E, welche in den Schacht des Bergwerks hinabreicht und dazu bestimmt ist, die Pumpen zu bewegen; es ist diess das Kunstgestänge, von welchem wir bei Gelegenheit der Bergwerkspumpen (§. 376) schon gesprochen haben.

Wenn der Hahn *a* offen ist, so drückt der Dampf von unten nach oben auf den Kolben C und hält dem atmosphärischen Druck, welcher auf die obere Fläche desselben stattfindet, das Gleichgewicht; die Stange E geht alsdann in Folge ihres eigenen Gewichtes und des Gegengewichtes F abwärts, indem sie den Kolben C zwingt, aufwärts bis an das obere Ende des Cylinders B zu steigen. Wenn man hierauf den Hahn *a* schliesst und durch irgend ein Mittel die Condensation des in B enthaltenen Dampfes bewirkt, so wird der Druck der atmosphärischen Luft, welcher auf der oberen Fläche des Kolbens C lastet, nicht mehr durch die Spannung des Dampfes im Gleichgewicht gehalten; der Kolben geht also abwärts und hebt so das Gestänge E. Durch diesen zweiten Theil der Bewegung des Kolbens kann eine beliebige Menge von Arbeit hervorgebracht werden; man darf nur die Fläche dieses Kolbens hinreichend gross machen.

Um die Condensation des Dampfes im Cylinder B zu bewirken, wandte man anfangs ein Mittel an, dessen sich schon Savery bediente, und welches darin bestand, kaltes Wasser mit der äusseren Fläche des Cylinders in Berührung zu bringen. Aber dieses Mittel wirkte nur langsam. Eines Tages bemerkte man, dass die Condensation mit einer viel grösseren Schnelligkeit als gewöhnlich hervorgebracht wurde. Indem man die Ursache davon aufsuchte, erkannte man, dass sie von dem Wasser herrührte, welches man über den Kolben gebracht hatte, um der Luft oder dem Dampf den Durchgang zwischen seinem Umfang und den Wänden des Cylinders

zu versperren. Ein Theil dieses Wassers ging durch ein kleines Loch, das sich zufällig im Kolben befand, und fiel tropfenweise in den mit Dampf erfüllten Raum: daher die rasche Condensation, welche man bemerkt hatte. Man benützte natürlich dieses wichtige Resultat sofort, und von diesem Augenblick an bewirkt man die Condensation nur noch durch Einspritzen von kaltem Wasser in das Innere des Raumes, der den zu condensirenden Dampf enthält. Zu diesem Zweck leitet eine Röhre *c*, die sich am Boden des Cylinders endigt, das kalte Wasser eines Reservoirs G in den Cylinder. In dieser Röhre ist ein Hahn, der mit einem Rad *a'* versehen ist, angebracht und gestattet, das Einspritzen des kalten Wassers nach Belieben herzustellen und wieder zu unterbrechen. Eine Kette ohne Ende umfasst die beiden Räder *a*,*a'* und bewirkt, dass sich keines ohne das andere drehen kann. Durch eine Kurbel *b*, die mit dem Rad *a'* verbunden ist, können beide Räder zu gleicher Zeit gedreht werden. In der Stellung, welche die Figur voraussetzt, ist der Hahn *a* geschlossen, der Hahn *a'* offen, und das kalte Wasser des Reservoirs G kann sich in den Cylinder B ergiessen, um die Condensation des Dampfes hervorzubringen. Wenn der Kolben C unten angekommen ist, so darf man nur die Kurbel *b* in passendem Sinne drehen, um den Hahn *a'* zu schliessen und den *a* zu öffnen. Alsdann steigt der Kolben C wieder aufwärts; dann bringt man die Kurbel in ihre erste Stellung zurück, der Kolben C geht wieder abwärts u. s. f. Eine am Boden des Cylinders B angebrachte Oeffnung steht mit einer Röhre *d* in Verbindung, die dazu bestimmt ist, das Wasser zu entfernen, welches sich nach und nach am Boden des Cylinders ansammelt; indem man einen Hahn, der an dieser Röhre angebracht ist öffnet, kann man dieses Wasser von Zeit zu Zeit durch dieselbe abfliessen lassen.

§. 434. In der atmosphärischen Maschine hat der Dampf keinen anderen Zweck, als dem atmosphärischen Drucke das Gleichgewicht zu halten: desshalb braucht seine Spannung nicht grösser als eine Atmosphäre zu sein. Aber um den Dampf auf diese Weise anwenden zu können, ist es absolut nothwendig, ihn nachher zu condensiren, zu welchem Zwecke man eine grosse Menge Wasser zur Verfügung haben muss. Wenn man anstatt dessen den Dampf auf einen Kolben wirken lässt, indem man ihm eine grössere Spannkraft als diejenige der atmosphärischen Luft ertheilt, so kann man eine ähnliche Wirkung wie die, welche die Condensation des Dampfes liefert, d. h. eine Verminderung der Spannkraft des Dampfes erreichen, wenn man denselben mit der freien Luft in Verbindung

setzt. Diess ist das Princip der sogenannten Hochdruckmaschine ohne Condensation.

Papin ist der erste, welcher solche Maschinen construirt hat. Leupold, der sie im Jahre 1724 bekannt machte, hat eine Maschine dieser Art, welche hier in Fig. 546 abgebildet ist, beschrieben.

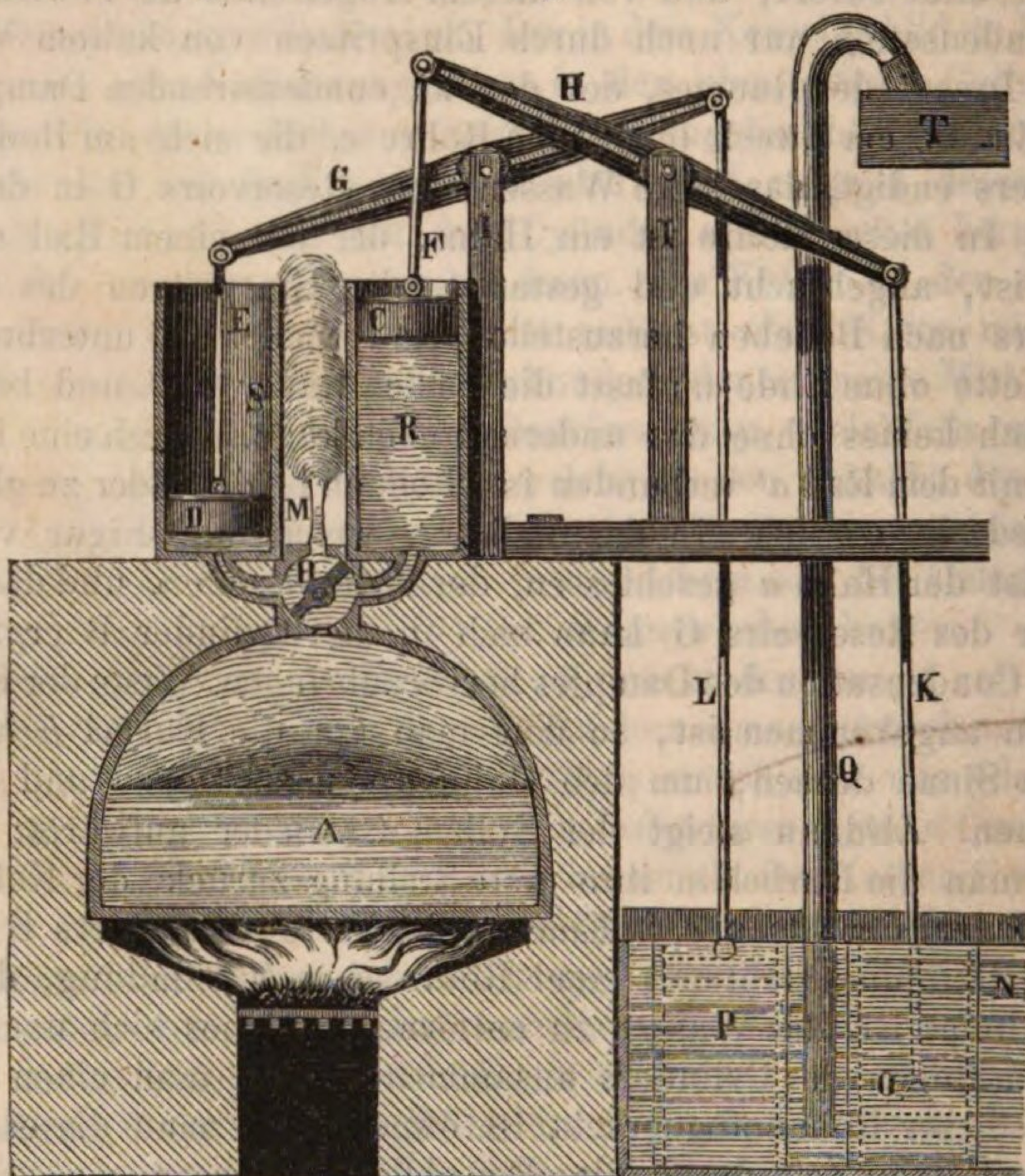


Fig. 546.

Ein Kessel A ist zur Erzeugung des Dampfes bestimmt; über ihm befinden sich zwei Cylinder R,S, mit welchen er abwechselnd in Verbindung gesetzt wird. Ein Hahn B, der sich auf dem Wege des Dampfes zu den Cylindern befindet, gestattet, denselben bald in den Cylinder R, bald in den S zu leiten; zu gleicher Zeit setzt dieser Hahn denjenigen der beiden Cylinder, welcher gerade keinen Dampf vom Kessel erhält, durch den Kanal M mit der freien Luft in Verbindung.

In der Stellung welche die Figur angibt, gelangt der Dampf aus dem Dampfkessel nach R, und derjenige, welcher sich in S befindet, entweicht in die freie Luft; wenn man den Hahn um einen rechten Winkel dreht, so geht der Dampf aus dem Dampfkessel

nach S, und derjenige welcher sich in R befindet, kann in die freie Luft ausströmen. Die Kolben C,D sind durch die Stangen E,F mit zwei Balanciers G,H verbunden; diese Balanciers sind andererseits an den Kolbenstangen K,L zweier Druckpumpen O,P befestigt, welche das Wasser aus dem Reservoir N durch die Steigröhre Q in das Reservoir T heben. Jeder der Kolben C,D wird in dem Cylinder, welcher ihn enthält, von unten nach oben gedrückt, wenn er der Wirkung des Dampfes aus dem Kessel ausgesetzt ist; zu gleicher Zeit senkt sich der entsprechende Kolben der Pumpe, indem er das Wasser in der Röhre Q in die Höhe drückt. Wenn hierauf der Dampf unter diesem Kolben durch die Oeffnung M in die freie Luft entweichen kann, so wird der Kolben auf beiden Seiten gleichstark gepresst und geht in Folge seines Gewichtes, welches die zu überwindenden Widerstände überwiegt, abwärts.

§. 435. **Einfach wirkende Watt'sche Dampfmaschine.** — Das, was wir in den vorhergehenden Paragraphen gesagt haben, kann eine Vorstellung von den allmäligen Fortschritten geben, welche die Anwendung des Dampfes als bewegende Kraft bis zum Jahre 1769 genommen hat. Bis dahin liegen die Dampfmaschinen so zu sagen noch in ihrer Kindheit; aber zu dieser Zeit trat der Engländer Watt auf und brachte diese Maschinen rasch auf einen hohen Grad von Vollkommenheit. Unter seinen Händen wurde die Dampfmaschine, die bis dahin nur zur Hebung des Wassers angewandt worden war, ein Universalmotor, der im Stande ist, die thierischen Motoren in allen Verhältnissen, wo eine Kraft zur Hervorbringung einer Arbeit entwickelt werden soll, zu ersetzen. Wir werden Gelegenheit erhalten, die Erfindungen dieses berühmten Mechanikers, Erfindungen, die alle von der grössten Wichtigkeit sind, anzugeben, indem wir die einfach wirkenden sowohl, als die doppelt wirkenden Maschinen, die er construirt hat, näher beschreiben.

Seine einfach wirkende Dampfmaschine construirte Watt, um die Newcomen'sche atmosphärische Maschine zu ersetzen (§. 433). Sie besteht wie die atmosphärische Maschine im Wesentlichen aus einem Cylinder, in welchem sich ein Kolben abwechselnd von unten nach oben und von oben nach unten bewegt. Die Stange dieses Kolbens ist gleichfalls mit einem der Enden eines Balanciers verbunden, welcher seine hin- und hergehende Bewegung einer Pumpenstange mittheilt, die am anderen Ende befestigt ist. Bei der Maschine von Watt sowohl, wie bei derjenigen von Newcomen steigt der Kolben in dem Cylinder allein durch die Wirkung des Gewichtes des Pumpengestänges, welche Wirkung durch Vermittlung

des Balanciers auf ihn übertragen wird; die abwärts gehende Bewegung dieses Kolbens dagegen wird durch den Unterschied der Drückungen, welche er auf seiner oberen und unteren Fläche erfährt, hervorgebracht. Aber die Gleichheit der Drückungen auf beiden Seiten des Kolbens während seiner aufsteigenden, und der Unterschied dieser Drückungen während seiner niedergehenden Bewegung werden bei beiden Maschinen nicht auf dieselbe Art erhalten.

Der Kolben A (Fig. 547) der Watt'schen Maschine bewegt sich in einem Cylinder BB, der an seinen beidenEnden geschlossen ist. Oben und unten an diesem Cylinder befinden sich zwei Oeffnungen C,D und setzen ihn mit einer weiten Seitenröhre EF in Verbindung, welche drei Ventile G, H, K enthält. Der Dampf, welcher sich im Kessel bildet, wird durch eine Röhre, die bei E endigt, über das Ventil G geleitet. Nachdem er seine Wirkung, die wir sogleich näher angeben werden, in dem Cylinder hervorgebracht hat, dringt dieser Dampf durch das Ventil K und strömt durch den unteren Theil F der Seitenröhre in einen besonderen Raum, welcher der Condensator genannt wird. Ein Strahl kalten Wassers, welcher in Form eines feinen Regens in dem Moment, wo der Dampf im Condensator ankommt, in diesen herabfällt, nimmt dem Dampf fast augenblicklich beinahe seine ganze Spannkraft.

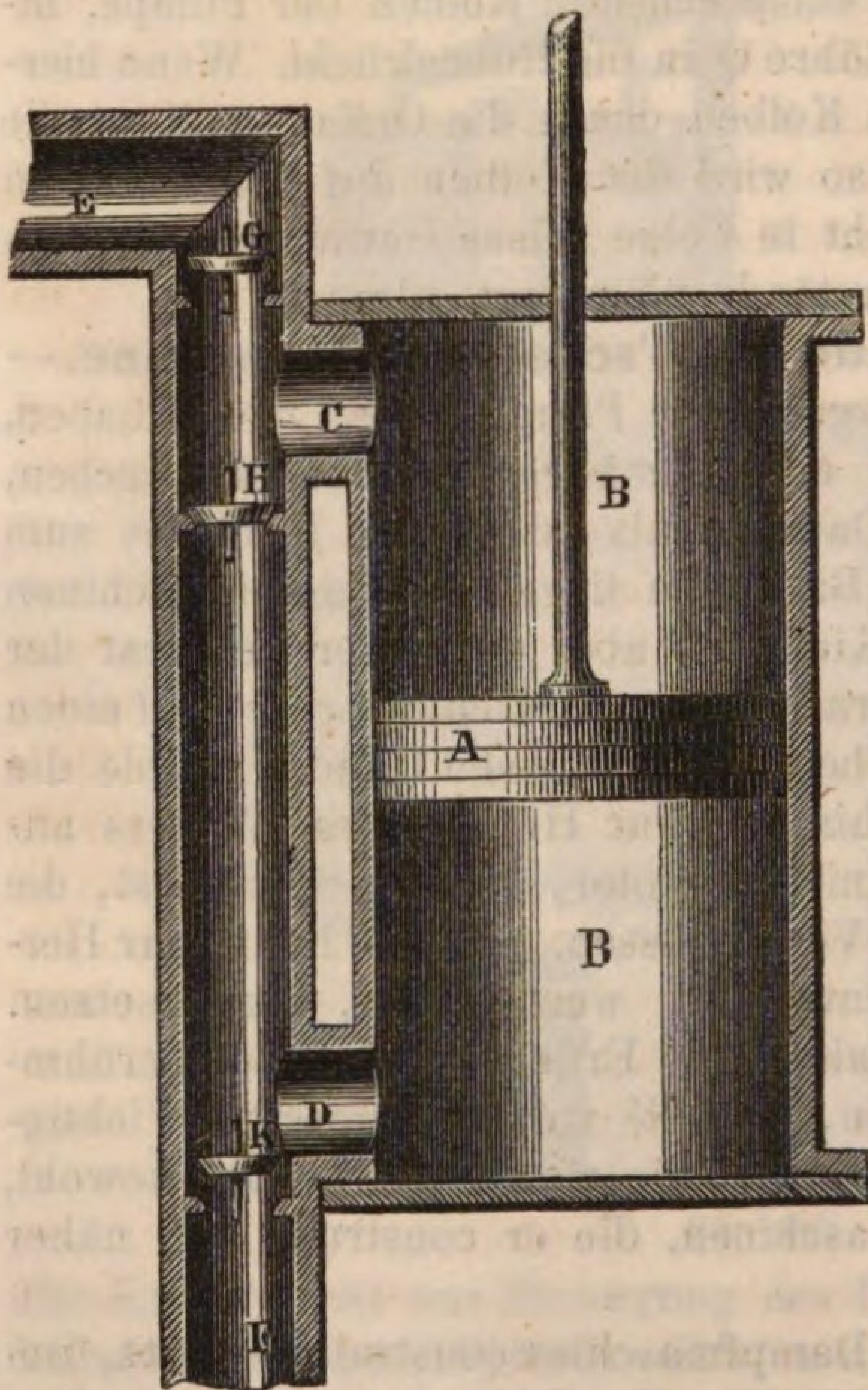


Fig. 547.

Um die Bewegung des Kolbens A in dem Cylinder BB hervorzubringen, reicht es hin, die drei Ventile G,H,K in passenden Momenten abwechselnd zu öffnen und zu schliessen. Wenn die Ventile G und K geöffnet sind, das Ventil H aber geschlossen ist, so gelangt der Dampf, welcher aus dem Kessel kommt, durch die Oeffnung C oben in den Cylinder und kann so seinen Druck auf die

obere Fläche des Kolbens A ausüben; zu gleicher Zeit befindet sich der Dampf, welcher vorher unter diesen Kolben eingeführt worden war, durch das geöffnete Ventil K in direkter Verbindung mit dem Condensator und hat folglich nur eine sehr geringe Spannung (§. 427). Der Kolben muss also abwärts gehen, vorausgesetzt, dass der Unterschied der Drückungen auf seine beiden Flächen im Stande ist, die Widerstände, welche an ihm wirken, zu überwinden. In dem Augenblick, wo der Kolben A unten in dem Cylinder angekommen ist, schliesst man die Ventile G,K und öffnet das Ventil H; alsdann communiciren der obere und untere Theil des Cylinders miteinander, während ihre Verbindung, sowohl mit dem Kessel, als auch mit dem Condensator, unterbrochen ist. Der Kolben erleidet also auf seinen beiden Flächen gleiche Drückungen und steigt ohne Schwierigkeit unter der Wirkung des Pumpengestänges, welches am anderen Ende des Balanciers befestigt ist, in die Höhe. Wenn der Kolben A oben angekommen ist, reicht es hin, das Ventil H zu schliessen und die beiden anderen zu öffnen, damit die abwärts gehende Bewegung des Kolbens von Neuem beginnt. Die drei Ventile G,H,K werden gewöhnlich mit besonderen Namen bezeichnet, die an den Zweck erinnern, welchen sie zu erfüllen haben: G heisst das Einlassventil, H das Gleichgewichtsventil und K das Auslassventil. Ein viertes Ventil, welches einen Strahl kalten Wassers in den Condensator dringen lässt, öffnet und schliesst sich zugleich mit dem Auslassventil.

§. 436. Die Anwendung eines Condensators, d. h. eines besonderen Raumes, in welchem die Condensation des Dampfes durch Einspritzen von kaltem Wasser vor sich geht, bildet die wichtigste der Erfindungen Watt's. Um sich von ihrer Wichtigkeit zu überzeugen, darf man nur den Vorgang in der Newcomen'schen Maschine näher untersuchen. In dem Moment, wo der Kolben am oberen Ende seines Laufes angekommen ist, spritzt man kaltes Wasser in den Cylinder, um den darin enthaltenen Dampf zu condensiren und den Kolben wieder abwärts gehen zu machen. Aber dieses kalte Wasser erniedrigt zu gleicher Zeit die Temperatur der Cylinderwände und zwar in bedeutendem Grade. Wenn man hierauf den Kolben wieder emporsteigen machen will, so lässt man eine neue Quantität Dampf aus dem Kessel in den Cylinder. Da sich dieser Dampf in Berührung mit kalten Wänden befindet, so condensirt er sich sofort, und erst, wenn die Temperatur dieser Wände durch diese Condensation hinreichend erhöht worden ist, behält der Dampf in dem Cylinder eine Spannkraft, die gross genug ist, um dem Drucke der atmosphärischen Luft das Gleichgewicht

zu halten und zu gestatten, dass der Kolben wieder in die Höhe geht. Man sieht daraus, dass die Wiedererwärmung der Cylinderwände bei jedem Kolbenschub eine grosse Menge Dampf erfordert, die rein verloren ist; und man begreift die grosse Wichtigkeit, welche es aus dem Gesichtspunkt der Ersparung von Brennmaterial haben muss, wenn dieser grosse Mangel der Newcomen'schen Maschine vermieden werden kann. Diess hat Watt in der That auf die glücklichste Weise durch Anwendung eines besonderen Condensators erreicht.

Die Anwendung des Dampfes, anstatt der atmosphärischen Luft, um auf die obere Fläche des Kolbens den zu seinem Niedergang erforderlichen Druck auszuüben, gestattet bei derselben Grösse des Kolbens die Hervorbringung einer grösseren Kraft. Zu diesem Zwecke reicht es hin, dem Dampf im Kessel eine Spannkraft, grösser als diejenige der atmosphärischen Luft, zu geben. Es folgt daraus, dass man, um eine Maschine von bestimmter Kraft zu construiren, dem Cylinder keine so grossen Dimensionen zu geben braucht, als es bei der Newcomen'schen Maschine der Fall sein müsste.

Die einfach wirkenden Watt'schen Maschinen werden noch heute an manchen Orten angewandt. Man sieht zwei derselben in Paris in dem Wasserwerke von Gros-Caillou; sie dienen dazu, Wasser aus der Seine für den Gebrauch der Stadt, namentlich bei Feuersgefahr, zu heben. Wir begnügen uns jedoch damit, das Princip derselben angegeben zu haben, ohne näher auf ihre Einrichtung einzugehen, und ziehen es vor, eine der einfach wirkenden Maschinen zu beschreiben, welche man gegenwärtig besonders in der Grafschaft Cornwallis in England zum Heben des Wassers aus den Bergwerken baut; es sind diess keine anderen als einfach wirkende Watt'sche Maschinen, an denen man allerdings erhebliche Verbesserungen angebracht hat. Bevor wir uns jedoch mit dieser Beschreibung beschäftigen, ist es nothwendig zu erklären, was man unter der Expansion des Dampfes versteht.

§. 437. **Expansion des Dampfes.** — Wir haben gesagt, dass bei der Watt'schen Maschine (Fig. 547) das Zulassventil G während der ganzen Zeit, welche der Kolben zum Abwärtsgehen braucht, geöffnet bleibt. Während dieser Zeit kann der Dampf frei aus dem Kessel in den Cylinder übergehen; ausserdem liefert das fortgesetzte Kochen des Wassers im Kessel in jedem Augenblick so viel Dampf, dass der abgehende dadurch ersetzt wird; daraus folgt, dass die obere Fläche des Kolbens immer auf die nämliche Weise gedrückt wird. Setzen wir jetzt voraus, dass das Ventil G nur während eines Theils des Niedergangs des Kolbens geöffnet bleibe,

dann wird von dem Augenblick an, wo es sich schliesst, die Dampfmenge, welche in dem oberen Theil des Cylinders enthalten ist, nicht mehr vermehrt. Der Dampf drückt jedoch nichtsdestoweniger fortgesetzt auf den Kolben und veranlasst ihn, weiter abwärts zu gehen; aber zu gleicher Zeit dehnt er sich aus, und seine Spannkraft vermindert sich folglich mehr und mehr, was ihn jedoch bei passender Einrichtung der Maschine nicht hindert, den Kolben bis an's untere Ende des Cylinders zu schieben. In dem ersten Theil der niedergehenden Bewegung des Kolbens, so lange das Zulassventil G offen ist, sagt man, der Dampf wirke mit vollem Druck; von dem Augenblick an dagegen, wo das Zulassventil geschlossen ist, sagt man, der Dampf wirke mit Expansion.

Sehen wir nun, welchen Vortheil es bietet, wenn man den Dampf während eines Theils des Kolbenschubes mit Expansion wirken lässt, anstatt ihm fortwährend seinen vollen Druck zu belassen. Setzen wir, um einen bestimmten Fall vor Augen zu haben, voraus, dass sich das Zulassventil in dem Moment schliesse, wo der Kolben in der Mitte seines Schubes angekommen ist. Es ist wohl klar, dass in diesem Falle der Dampf nicht so viel Effekt hervorbringen kann, als wenn er während des ganzen Kolbenschubes mit vollem Drucke wirken würde. Dagegen wird aber auch die Menge des verbrauchten Dampfes nur halb so gross als im letzteren Falle; der Verbrauch von Brennmaterial wird folglich gleichfalls auf die Hälfte reducirt, weil, alles Andere als gleich vorausgesetzt, die Menge des verbrauchten Brennmaterials offenbar proportional der erzeugten Dampfmenge ist. Um sich also zu überzeugen, ob es vortheilhaft ist, den Dampf mit Expansion wirken zu lassen, darf man sich nur versichern, ob durch dieses Mittel der Aufwand an Dampf oder Brennmaterial im grösseren Verhältniss als der erzeugte Effekt abnimmt. Diess ist aber leicht zu sehen. Denn die Quantität der Arbeit (§. 85), welche durch die Wirkung des Dampfes auf den Kolben während der ersten Hälfte seines Schubes, d. h. also während das Zulassventil geöffnet ist, hervorgebracht wird, ist genau gleich der Hälfte derjenigen, welche geleistet werden würde, wenn der Dampf während des ganzen Kolbenlaufes mit vollem Druck wirken würde; die gesammte Arbeit des Dampfes während des ganzen Kolbenschubes übersteigt also die Hälfte von derjenigen, welche erzeugt worden wäre, wenn der Dampf fortwährend mit vollem Druck wirken würde, um die ganze Arbeit, welche während der Expansion des Dampfes entwickelt wird. Nun ist aber die Menge des Dampfes, welche in unserem angenommenen Fall bei Anwendung von Expansion gebraucht wird, gerade die Hälfte, als

wenn man dieselbe nicht anwendet: indem man also den Dampf mit Expansion wirken lässt, vermindert man den Verbrauch an Dampf- und Brennmaterial im grösseren Verhältniss als die erzeugte Arbeit und erzielt also einen wirklichen Vortheil. Wenn man mit einer Expansionsmaschine dieselbe Arbeit leisten will als mit einer Maschine, wo der Dampf immer mit vollem Druck wirkt, so darf man nur den Cylinder der ersteren weiter als den der letzteren machen, und zwar in einem Verhältniss, das durch den Grad der Expansion, welchen man anwenden will, bestimmt wird; und dabei wird die erstere Maschine, trotzdem dass sie dieselbe Arbeit wie die zweite leistet, weniger Dampf, oder was auf dasselbe hinausläuft, weniger Brennmaterial erfordern, um den für ihre Bewegung nothwendigen Dampf zu liefern.

Um uns eine klare Vorstellung von dem Vortheile, welcher aus der Anwendung des Dampfes mit Expansion folgt, zu verschaffen, wollen wir die Grösse der Arbeit angeben, welche die nämliche Masse Dampf leisten kann, je nachdem sie mit mehr oder weniger Expansion wirkt. Um einzusehen, wie diese Arbeit berechnet werden kann, muss man sich denken, dass der Kolben, während sich der Dampf ausdehnt, immer kleinere und kleinere Drückungen erleidet, die dem Mariotte'schen Gesetze folgen; wenn man dann die ganze Dauer der Expansion in eine grosse Anzahl kleiner Theile zerlegt, sodass während jedes derselben der Druck als constant betrachtet werden kann, so erhält man die während der Expansion geleistete Arbeit, wenn man den Druck, welcher jedem jener Zeitintervalle entspricht, mit dem Weg, welcher während dieser Zeit durchlaufen wird, multiplicirt (§. 85) und die sämmtlichen so erhaltenen Produkte addirt. Zu dieser Summe die Arbeit hinzugefügt, welche der Dampf leistet, bevor die Expansion beginnt, gibt die gesammte erzeugte Arbeit. Auf diese Weise wurden die Zahlen der folgenden Tabelle erhalten, welche die verschiedenen Mengen von Arbeit gibt, welche ein und dieselbe Masse Dampf leisten kann, wenn sie mit vollem Druck, oder wenn sie mit Expansion wirkt, welche beginnt, nachdem der Kolben $\frac{9}{10}$, $\frac{8}{10}$, $\frac{7}{10}$ seines Schubes zurückgelegt hat. Als Einheit der Arbeit wurde diejenige angenommen, welche in dem Falle geleistet wird, wo der Dampf ohne Expansion wirkt.

Theil des Kolbenschubs, wo die Expansion beginnt.	Erzeugte Arbeit.	Theil des Kolbenschubs, wo die Expansion beginnt.	Erzeugte Arbeit.
1	1,000	0,5	1,693
0,9	1,105	0,4	1,916
0,8	1,223	0,3	2,204
0,7	1,357	0,2	2,609
0,6	1,509	0,1	3,302

Die Idee, den Dampf mit Expansion wirken zu lassen, rührt von Watt her. Sie wurde aber erst nach ihm bei der Construction der Dampfmaschinen angewendet.

§. 438. **Cornwaller Dampfmaschine.** — Die Maschine, welche gegenwärtig in der Grafschaft Cornwallis zum Heben des Wassers aus den Bergwerken angewendet wird, ist, wie schon oben gesagt, eine einfach wirkende Watt'sche Dampfmaschine (§. 435), an welcher man bedeutende Verbesserungen, unter welchen die Anwendung der Expansion den ersten Rang einnimmt, angebracht hat. Die Fig. 548 zeigt die Hauptansicht einer Maschine dieser Art. Der Kolben bewegt sich im Innern des Cylinders A. Seine Stange B ist in C mit einem der Enden eines Balanciers CDE verbunden. Die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens bringt eine oscillirende Bewegung des Balanciers um seine Axe D hervor und folglich eine hin- und hergehende Bewegung der Stange F, die an dem anderen Ende E dieses Balanciers befestigt ist. Die Stange F reicht in einen Schacht des Bergwerks hinab und muss die Pumpen bewegen; sie bildet das Kunstgestänge, von dem wir schon bei Gelegenheit der Bergwerkspumpen (§. 376) gesprochen haben. Die Wirkung des Dampfes hat nur den Zweck, das Gestänge F zu heben; indem darauf dieses Gestänge unter der Wirkung seines Gewichtes wieder abwärts geht, drückt es das Wasser in den Steigröhren der Pumpen in den verschiedenen Etagen in die Höhe.

Man begreift leicht, dass in einer Maschine dieser Art der Anwendung der Expansion des Dampfes nicht allein eine Ersparung von Brennmaterial entspricht; es folgt daraus noch ein wichtiger Vortheil für den Gang der Maschine. Die Widerstände wirken während der ganzen Zeit des Niedergangs des Treibkolbens mit constanter Stärke. Wenn der Dampf mit vollem Druck wirken würde,

bis der Kolben am unteren Ende seines Schubes angekommen wäre, so würde daraus folgen, dass die Kraft während dieser Zeit gleichfalls

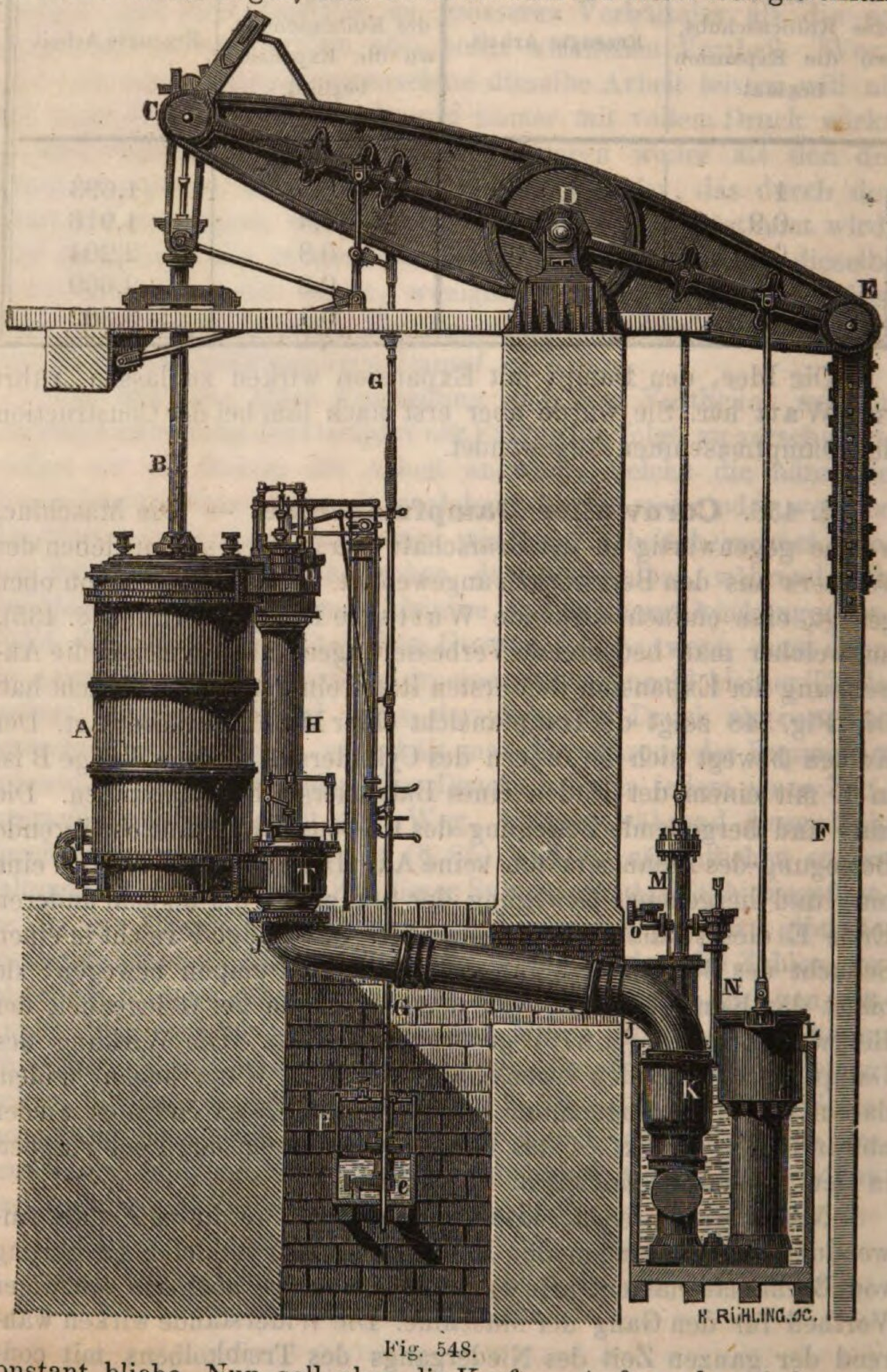


Fig. 548.

constant bliebe. Nun soll aber die Kraft zu Anfang der niedersteigenden Bewegung des Kolbens die Widerstände überwiegen, um

demselben, sowie den verschiedenen beweglichen Theilen der Maschine eine gewisse Geschwindigkeit geben zu können; es würde also die Kraft während des ganzen Kolbenlaufes grösser als die zu überwindenden Widerstände sein, und die Bewegung der Maschine würde sich fortwährend beschleunigen; daraus würde aber ein Stoss des Kolbens gegen den Boden des Cylinders hervorgehen, welcher Stoss vermieden werden muss, da er Nachtheile verschiedener Art in seinem Gefolge haben würde. Die Anwendung der Expansion des Dampfes beseitigt diesen Stoss. Es sei der Druck, welchen der Dampf gegen den Kolben ausübt, anfangs constant und grösser als die zu überwindenden Widerstände, darauf aber nehme er in Folge der Expansion ab, so dass er zu schwach wird um den Widerständen das Gleichgewicht zu halten, so ist klar, dass sich die Bewegung des Kolbens in der ersten Zeit der Bewegung beschleunigen wird, um sich hierauf zu verzögern (§. 150), und es kann folglich dahin gebracht werden, dass der Kolben am unteren Ende seines Schubes nur mit der Geschwindigkeit Null oder fast Null ankommt.

Die Maschine bewegt die verschiedenen, zu ihrem Gange nothwendigen Mechanismen selbst. Eine lange Stange GG, welche an dem Balancier aufgehängt ist, und die man Steuerstange nennt, dient dazu, die Einlass-, Gleichgewichts- und Auslassventile zu richtiger Zeit zu öffnen und zu schliessen, wie wir es bald beschreiben werden. Die Röhre H setzt den oberen und unteren Theil des Cylinders A durch die Oeffnung des Gleichgewichtsventils hindurch mit einander in Verbindung, damit der Kolben unter der Wirkung des Gewichts des Gestänges F aufwärts gehen kann. Die Röhre JJ verbindet den unteren Theil des Cylinders mit dem Condensator K, wenn das Auslassventil geöffnet ist. Der Condensator ist ein geschlossenes Gefäss, welches sich mitten in einem mit kaltem Wasser gefüllten Trog befindet, und in welches das Wasser aus dem Trog in Form eines Strahls durch eine zu diesem Zweck angebrachte Oeffnung fortwährend einspritzt.

Eine Pumpe L, deren Kolben durch eine lange Stange mit dem Balancier CDE verbunden ist, dient dazu, das Wasser, welches sich in dem unteren Theil des Condensators ansammelt, und das sowohl von dem eingespritzten Wasser als von dem condensirten Dampf herrührt, aus dem Condensator zu entfernen. Bei jedem Hub des Kolbens der Pumpe L wird nicht nur alles in dem Condensator enthaltene Wasser aus demselben gezogen, sondern dieser Kolben saugt auch noch gegen das Ende des Hubs einen Theil der in der Röhre J und im Condensator enthaltenen Luft aus. Desshalb trägt die Pumpe L auch den Namen Luftpumpe. Wenn diese Pumpe

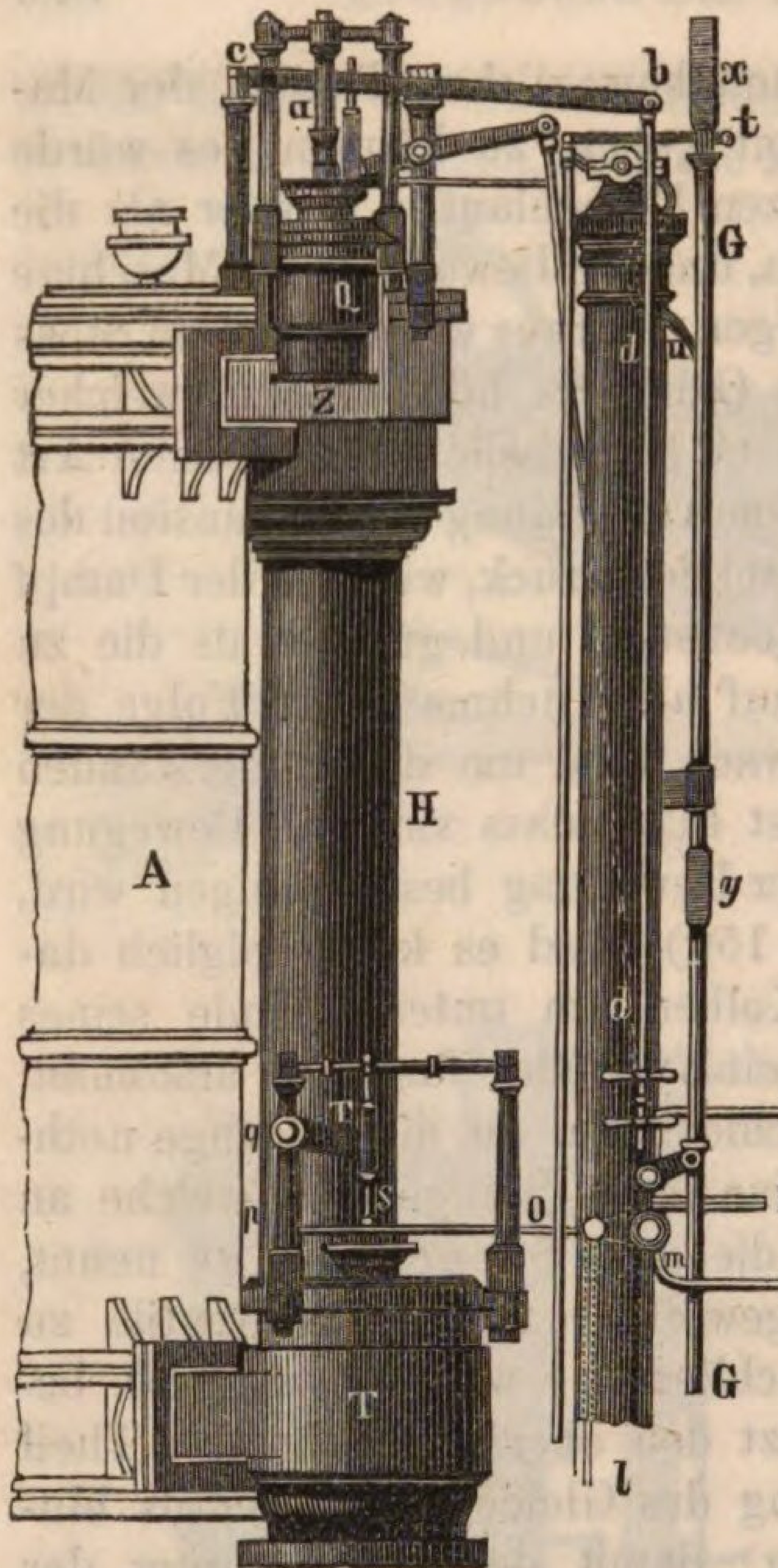


Fig. 549.

nur das Wasser aus dem Condensator entfernen würde, so würden sich immer grössere und grössere Mengen Luft darin ansammeln, und es würde bald dahin kommen, dass der Druck im Condensator nicht geringer als der Druck der atmosphärischen Luft wäre; von da an würde die Condensation des Dampfes unnütz sein, weil man denselben Zweck erreichen würde, wenn man ihn in die freie Luft strömen liesse. Diese Luft, welche aus dem Condensator gesaugt werden muss, rührt theilweise von dem Einspritzwasser her, von welchem sie aufgelösst gehalten wird, und aus welchem sie sich beim Erwärmen entwickelt, theilweise führt sie der Dampf mit sich, der sie aus dem Dampfkessel, wo sie gleichfalls in dem Wasser absorbirt war, mit herüber bringt.

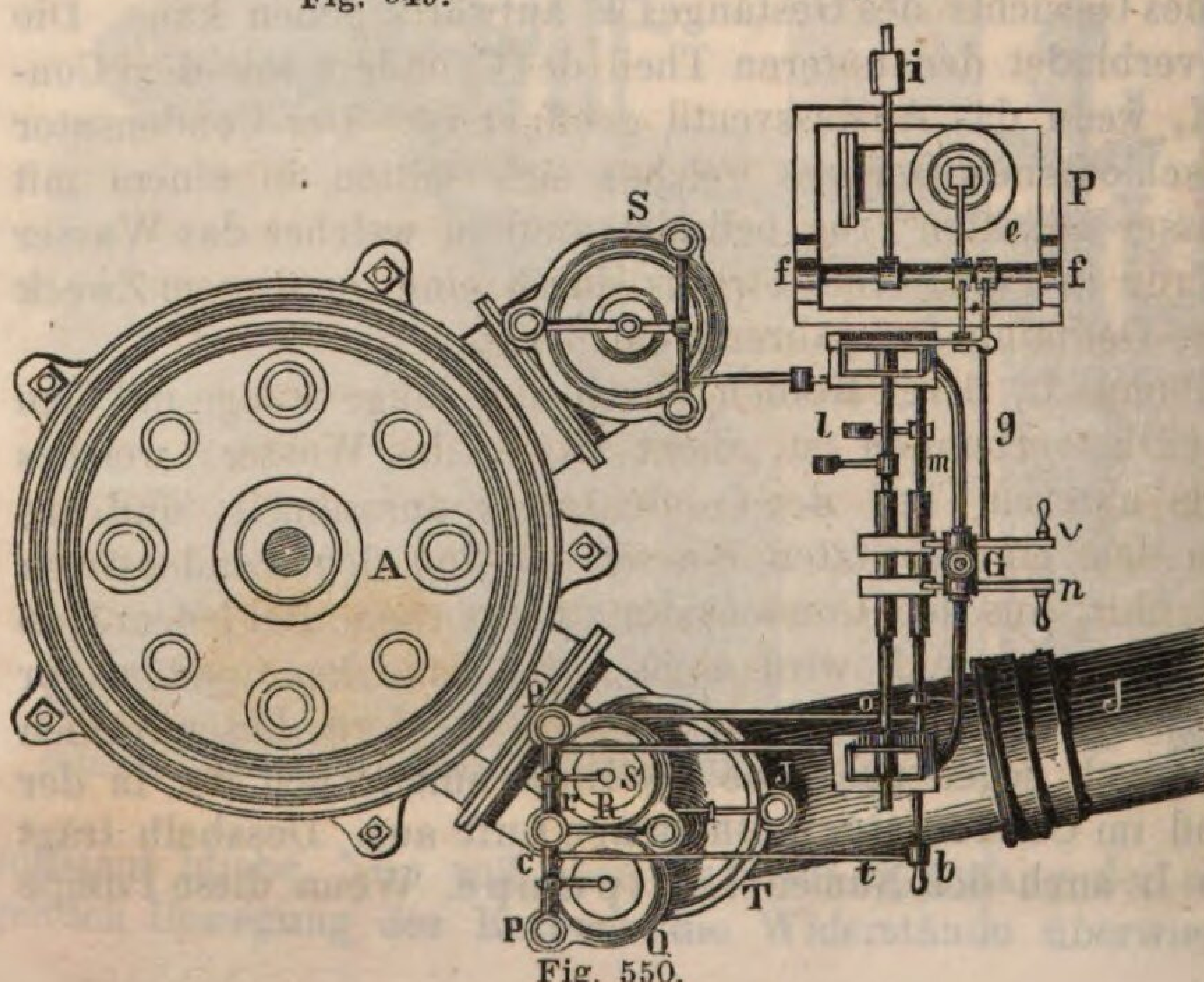


Fig. 550.

Eine andere Pumpe M, welche gleichfalls durch die Maschine selbst bewegt wird, nimmt durch die Röhre N einen Theil des warmen Wassers, welches die Luftpumpe aus dem Condensator zieht, in Empfang und drückt es durch eine Röhre, welche sich bei O abzweigt, in den Dampfkessel. Dieses Wasser hat den Zweck, dasjenige, welches zur Dampferzeugung im Kessel verwendet wird, fortwährend wieder zu ersetzen und somit den Wasserstand im Kessel nahezu in gleicher Höhe zu erhalten.

§. 439. Sehen wir nun, auf welche Weise die Ventile durch die Maschine selbst abwechselnd geöffnet und geschlossen werden können. Zu diesem Zweck bedienen wir uns der Fig. 549 u. 550, von denen die erste den Theil der Fig. 548, wo sich die zu beschreibenden Mechanismen befinden, in grösserem Masstabe wieder gibt; die zweite ist der Grundriss desselben Theils der Maschine.

Man sieht bei Q einen cylindrischen Raum, in welchem sich ein erstes Ventil befindet, das dazu bestimmt ist, den Zufluss des Dampfes aus dem Kessel in den Cylinder zu reguliren, d. h. mehr oder weniger Dampf in den letzteren einströmen zu lassen, je nachdem die durch den Dampf zu überwindenden Widerstände grösser oder kleiner sind. Dieses Ventil, welches man das Regulirventil nennt, soll sich während des Ganges der Maschine weder öffnen noch schliessen; es soll im Gegentheil fortwährend die Lage behalten, welche man ihm anfangs gegeben hat, damit die niedersteigende Bewegung des Kolbens weder zu langsam noch zu schnell vor sich geht. Der Stiel *a* dieses Ventils geht durch den Deckel der Büchse Q, welche es enthält; ein Hebel *bc*, der an der Axe *c* befestigt ist, gestattet, diese Axe um sich selber zu drehen und dadurch den Stab *a* mittelst eines anderen Hebels, welchen dieselbe Axe trägt, mehr oder weniger zu heben; an dem Ende *b* des Hebels *bc* endlich ist eine Stange *dd* befestigt, die bis in das Bereich der Hände des Maschinenwärters herabgeht, sodass dieser ihr unteres Ende heben oder senken und dadurch dem Regulirventil eine passende Oeffnung geben kann.

Unter der Büchse Q bei Z mündet die Röhre ein, welche den Dampf aus dem Kessel in die Maschine leitet. Der Dampf geht also von unten nach oben durch die Oeffnung des Regulirventils. Von da aus strömt er in die Büchse R des Einlassventils, das sich neben dem vorhergehenden befindet, und gelangt in den oberen Theil des Cylinders, vorausgesetzt, dass dieses Ventil offen ist. Nachdem er auf den Kolben gewirkt und ihn abwärts gehen gemacht hat, tritt er aus dem oberen Theil des Cylinders durch die Büchse S des Gleichgewichtsventils, das hier oben in der Röhre H gelegen

ist, und ergiesst sich durch diese Röhre in den unteren Theil desselben Cylinders, während welcher Zeit der Kolben in die Höhe geht. Endlich öffnet sich das bei T angebrachte Auslassventil, und der Dampf geht aus dem Cylinder in die Röhre II, welche ihn zum Condensator leitet.

Wenn der Kolben eben abwärts zu gehen beginnt, so muss sich zunächst das Auslassventil öffnen und erst hierauf, einige Augenblicke später, das Einlassventil, damit in der Zwischenzeit der im unteren Theil des Cylinders enthaltene Dampf Zeit hat, sich grösstentheils zu condensiren. Nachdem der Kolben einen Theil seines abwärtsgehenden Schubes durchlaufen hat, muss sich das Einlassventil schliessen, damit von da ab der Dampf nur noch mit Expansion wirkt; das Auslassventil darf aber erst dann geschlossen werden, wenn der Kolben am unteren Ende seines Weges angekommen ist. Alsdann öffnet sich das Gleichgewichtsventil, der Kolben steigt in die Höhe, und erst, wenn er ganz oben angekommen ist, wird jenes Ventil wieder geschlossen. Nun öffnet sich das Auslass- sowie das Einlassventil von Neuem, der Kolben beginnt wieder abwärts zu steigen u. s. f.

Man kann die Maschine so einrichten, dass sie die Aus- und Einlassventile zu derselben Zeit öffnet, wo sie das Gleichgewichtsventil schliesst, d. h. in dem Moment, wo der Kolben am oberen Ende seines Weges ankommt; bei dieser Einrichtung geht dann der Kolben unmittelbar darauf wieder abwärts, und der Gang der Maschine ist continuirlich. Aber anstatt dessen hat man gesucht, dem Kolben eine intermittirende Bewegung zu geben, d. h. ihn nach jedem Doppelschub, dem niedersteigenden und unmittelbar darauf folgenden aufsteigenden, kürzere oder längere Zeit am oberen Ende seines Weges stillstehen zu lassen. Dieselbe intermittirende Bewegung hat dann natürlich auch die ganze Maschine; es ist übrigens nur die besondere Art der von der Maschine zu leistenden Arbeit, welche dazu geführt hat, ihr diese eigenthümliche Bewegung zu geben. Die durch das Kunstgestänge F bewegten Pumpen müssen das in dem Schachte enthaltene Wasser in dem Maasse ausschöpfen, als es durch die Spalten und Poren des Erdreichs und durch die verschiedenen Stollen, welche in diesem Schachte enden, eintritt; man begreift also, dass diese Pumpen möglicherweise nicht fortwährend in Thätigkeit zu sein brauchen, sondern dass ihre Kolben während jeder Stunde nur eine gewisse Anzahl von Hüben zu machen haben, die durch die Menge des Wassers bestimmt ist, welches sich während dieser Zeit in den Schacht ergiesst.

Um diese intermittirende Bewegung der Dampfmaschine hervorzubringen, lässt man die Aus- und Einlassventile nicht durch die Maschine selbst öffnen, sondern durch einen besondern Apparat, welchen man in P (Fig. 548 u. 550) sieht, und dem man den Namen Katarakt gibt. Dieser Apparat besteht im Wesentlichen aus einer Wasserpumpe *e*, welche inmitten eines mit Wasser gefüllten Troges steht. Die Kolbenstange dieser Pumpe ist mit einem Hebel verbunden, der an einer horizontalen Axe *ff* befestigt ist; ein anderer Hebel *g* ist auf der anderen Seite gleichfalls mit dieser Axe in Verbindung. In dem Moment, wo der Kolben der Dampfmaschine am unteren Ende seines Weges ankommt, senkt die Steuerstange GG den Hebel *g*, dreht dadurch die Axe *ff* um eine gewisse Grösse um sich selbst und erhebt so den Kolben der Pumpe *e*. Ein Ventil, welches am Boden des Stiefels der Pumpe *e* angebracht ist, öffnet sich von aussen nach innen und lässt das Wasser aus dem Trog in den Stiefel treten und denselben anfüllen. Wenn nun der Kolben der Dampfmaschine wieder steigt, so ist der Kolben des Katarakts nicht mehr der Wirkung der Steuerstange GG ausgesetzt und sucht nun in Folge seines eigenen Gewichtes, sowie auch in Folge des Gegengewichtes *i*, das an einem, mit der Axe *ff* ein Stück bildenden Hebel befestigt ist, niederzugehen. Aber das Wasser, welches in den Pumpenstiefel des Katarakts gedrungen ist, kann nur durch eine Oeffnung austreten, welche man nach Belieben enger und weiter machen kann; daraus folgt, dass der Kolben, indem er das Wasser durch diese Oeffnung hinaus drängt, nur langsam niedersteigen kann. Der Hebel *g* erhebt sich also gleichfalls langsam. Diese aufsteigende Bewegung des Hebels *g* ist es nun, welche man benützt, um zu passender Zeit die Aus- und Einlassventile zu öffnen, damit die Maschine einen neuen Kolbenhub beginnen kann. Man begreift demnach, dass man die Zeit, welche zwischen zwei aufeinanderfolgenden Hüben des Kolbens der Maschine verfliesst, nach Belieben reguliren kann, indem man die Oeffnung, durch welche das Wasser aus dem Stiefel der Pumpe des Katarakts tritt, mehr oder weniger verengt und dadurch die aufsteigende Bewegung des Hebels *g* mehr oder weniger verlangsamt.

Wir werden nicht den ganzen Mechanismus, welcher dazu dient, die verschiedenen Ventile der Maschine zu gehöriger Zeit zu öffnen und zu schliessen, ausführlich und im Einzelnen beschreiben, sondern wir werden uns damit begnügen, denjenigen, welcher zum Auslassventil gehört, vollständig kennen zu lernen; es wird diess hinreichen, um sich über die Art und Weise Rechenschaft zu geben, wie sich die Maschine selbst bedienen kann, ohne wie bei

den ersten Dampfmaschinen die Gegenwart eines besonderen Arbeiters zu erfordern, der damit beschäftigt ist die Ventile zu stellen.

Eine vertikale Stange (Fig. 549 u. 550) stützt sich mit ihrem unteren Ende gegen den Hebel *g* des Katarakts; man sieht sie in Fig. 549 nicht, weil sie durch die Steuerstange GG verdeckt ist. Diese Stange steigt mit dem Hebel *g* langsam in die Höhe, und wenn sie hinreichend gehoben ist, berührt ein Vorsprung, welcher seitwärts an ihr sitzt, die untere Seite des kleinen horizontalen Hebels *k*. Indem hierauf die Stange fortfährt zu steigen, wird der Hebel *k* gehoben. Eine Stange *l*, welche an ihrem unteren Theil ein Gegengewicht trägt, ist mittelst eines Gelenks mit einem kleinen Hebel verbunden, der an einer horizontalen Axe *m* befestigt ist; sie sucht diese Axe fortwährend zu drehen, indem sie den Hebel, welcher sie trägt, niederdrückt. Aber die Axe *m* trägt eine Art von Zahn, der sich gegen einen anderen Zahn anlegt, welcher an der unteren Seite des Hebels *k* befestigt ist, und welcher sich auf diese Weise der Drehung dieser Axe unter der Wirkung des Gegengewichts, das durch die Stange *l* getragen wird, widersetzt. Wenn aber der Hebel *k* durch den Stab, welchen der Katarakt emporsteigen macht, gehoben wird, so wird der Zahn der Axe *m* ausgelöst, und diese Axe dreht sich nun, indem sie der Zugkraft, welche sie von Seiten des Stabes *l* erfährt, folgt. Alsdann hebt sich der an der Axe *m* befestigte Handgriff *n*, und ein Stab *op*, mittelst eines Gelenks an einem kleinen Hebel, welchen gleichfalls diese Axe trägt, befestigt, wird plötzlich nach rechts gezogen; ein vertikaler Hebel *pq*, der in *p* mit dem Stab *op* mittelst eines Gelenkes verbunden und an der horizontalen Axe *r* befestigt ist, wird zu derselben Zeit an seinem unteren Ende *p* nach rechts gezogen; indem sich dadurch die Axe *r* dreht, hebt sie einen anderen Hebel, der gleichfalls an ihr befestigt ist; dieser letzte Hebel öffnet das Auslassventil, indem er den Stiel *s* desselben in die Höhe hebt.

Wenn das Auslassventil geöffnet ist, so fährt die vertikale Stange, welche der Hebel *g* des Katarakts hebt, noch fort zu steigen und hebt bald den horizontalen Hebel *t* in die Höhe. Dieser Hebel spielt in Bezug auf das Einlassventil dieselbe Rolle wie der Hebel *k* in Bezug auf das Auslassventil; sobald er etwas gehoben wird, öffnet sich das Einlassventil unter der Wirkung eines Gegengewichts, welches zu gleicher Zeit den Handgriff *u* hebt. Alsdann steigt der Kolben unter der Wirkung des Dampfes nieder und die Steuerstange GG mit ihm. Ein langer Treiber *x*, der an der Steuerstange befestigt ist, senkt bald den Handgriff *u* und hält so das Einlassventil während des übrigen Theils des Kolbenschubes geschlossen,

damit der Dampf nur mit Expansion wirkt. Wenn der Kolben am untersten Ende seines Weges ankommt, so drückt der Treiber *y* der Steuerstange den Handgriff *n* nieder, wodurch das Auslassventil geschlossen wird. Zu gleicher Zeit senkt die Steuerstange GG den Hebel *g* des Kataraktes; die vertikale Stange, welche sich gegen diesen Hebel stützt, geht also gleichfalls abwärts, und die Hebel *k*,*t* können sich senken, um sich von Neuem der Oeffnung des Ein- und Auslassventils zu widersetzen, bis der Katarakt diese Hebel wieder hebt. In dem Augenblick, wo der Handgriff *n* unter der Wirkung des Treibers *y* der Steuerstange in die Lage gebracht wird, welche die Figur zeigt, hängt die Axe *m*, indem sie sich dreht, ein Gegengewicht aus, welches das Gleichgewichtsventil öffnet und zu gleicher Zeit den Handgriff *v* senkt. Hierauf steigt der Kolben in die Höhe, die Steuerstange GG mit ihm, und wenn er im Begriff ist, am obersten Ende seines Schubes anzukommen, so erhebt die letztere mittelst eines Ansatzes, der in der Figur nicht sichtbar ist, den Handgriff *v*. Dadurch wird das Gleichgewichtsventil geschlossen, und die Maschine bleibt vollständig stehen, bis der Katarakt von Neuem die Aus- und Einlassventile öffnet.

§. 440. Bei den Maschinen, mit denen wir uns eben beschäftigen, hat man für die Einlass-, Gleichgewichts- und Auslassventile eine besondere Form gewählt, welche man kennen muss, und die in Fig. 551 und 552 abgebildet ist. Ein zweckmässig eingerichtetes

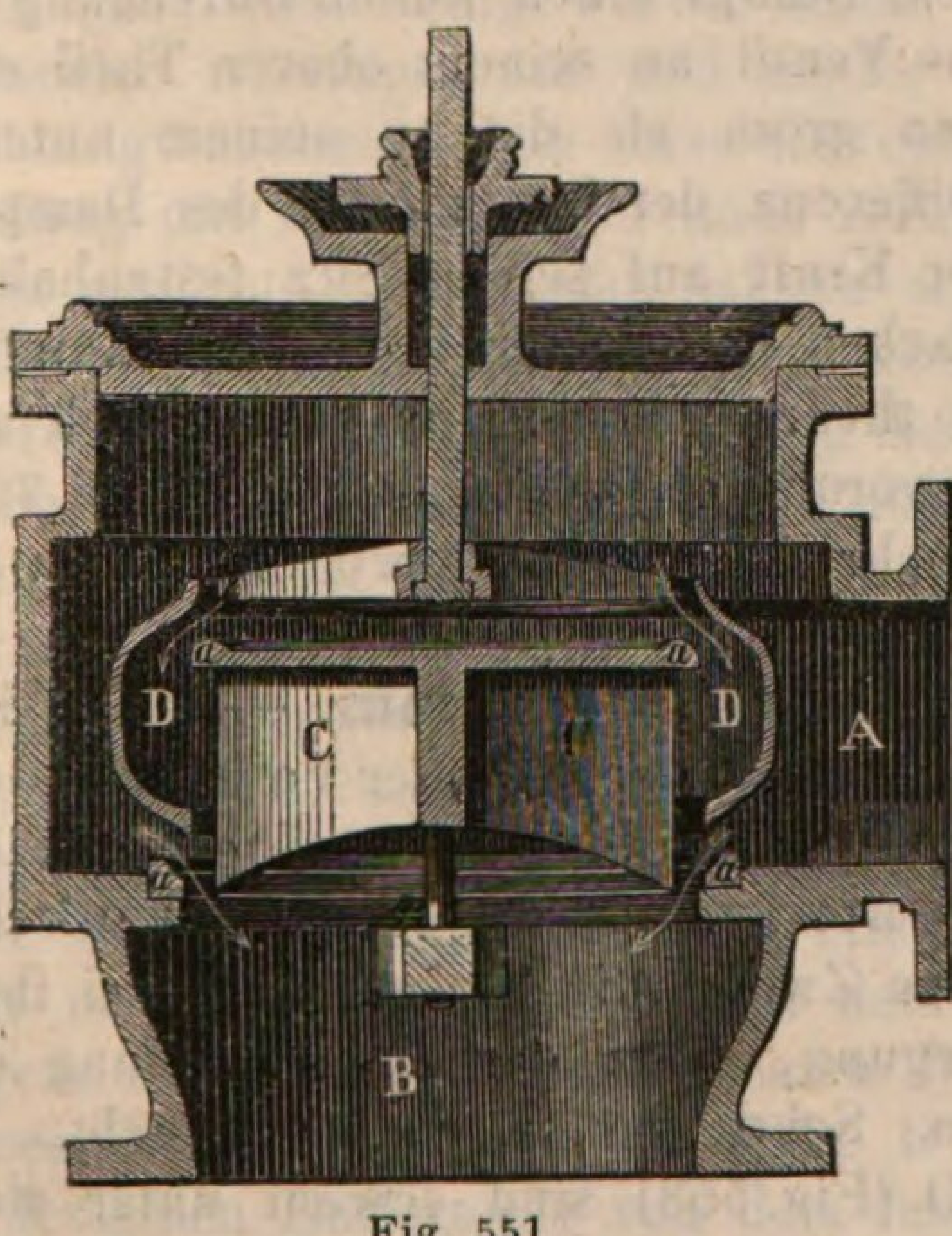
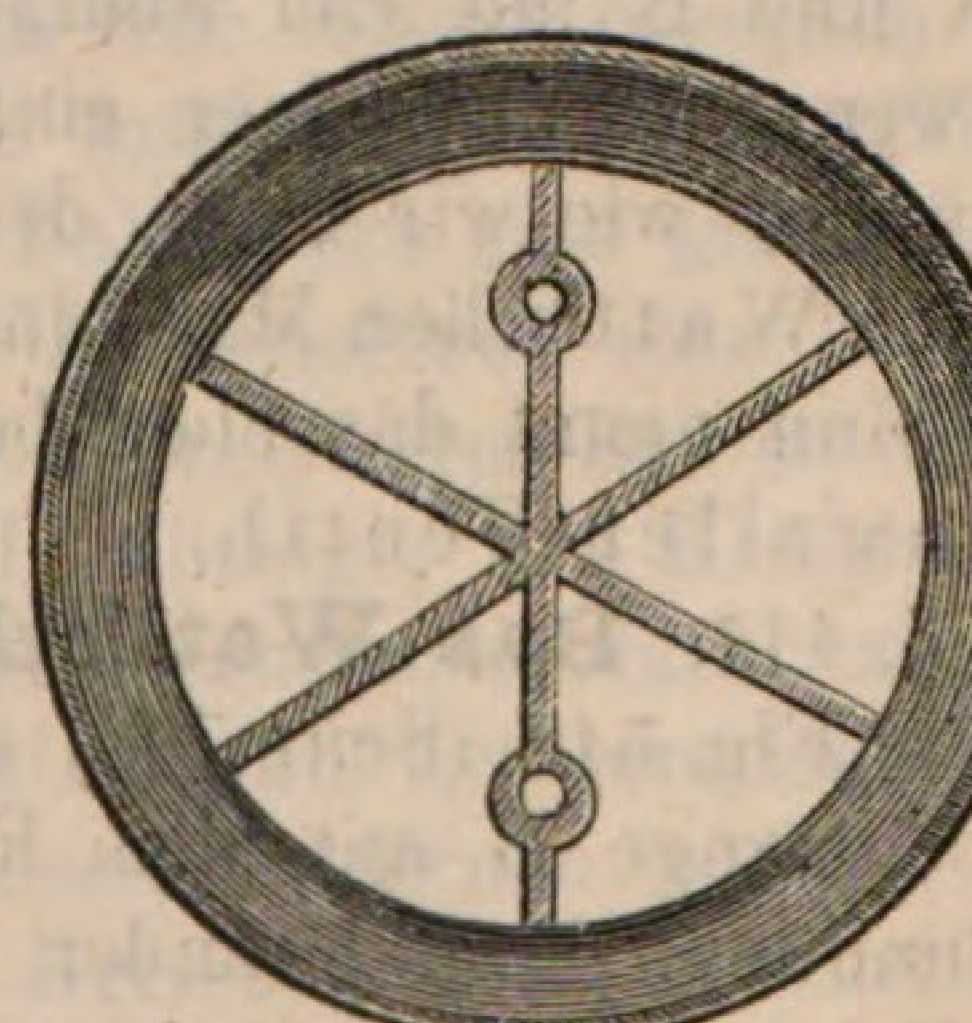


Fig. 551.


Fig. 552.

Ventil soll nämlich geöffnet werden können, ohne eine zu grosse

Kraft zu erfordern, und soll dem Dampf immer möglichst weiten Durchgang gestatten, ohne dass es viel von seiner Stelle bewegt werden muss. Diese beiden Bedingungen werden durch die Ventile der Cornwaller Maschinen sehr gut erfüllt. Der Dampf soll von A nach B strömen können, wenn das Ventil geöffnet ist, während bei geschlossenem Ventil die Verbindung zwischen A und B unterbrochen sein soll. Man sieht bei C ein feststehendes Stück, das von sechs Scheidewänden gebildet wird, welche radial um eine mittlere Axe stehen und oben in eine kreisrunde Scheibe endigen, welche ein Stück mit diesen Scheidewänden bildet und die Zwischenräume, die zwischen denselben enthalten sind, bedeckt. Dieses feststehende Stück C, welches den Ventilsitz bildet, ist also an seinem ganzen Umfang durchbrochen, sodass es ungehindert den Dampf von A nach B übertreten lässt. Das Ventil D selbst ist eine Art von Scheide, welche den Ventilsitz C einhüllt und längs der äusseren Ränder seiner Scheidewände gleiten kann. Wenn es so viel als möglich gesenkt ist, so stützt es sich oben und unten gegen die konischen Ränder *a,a* der oberen kreisförmigen Scheibe und eines unten angebrachten Rings, welche Ränder nur eine geringe Breite haben; wenn es im Gegentheil geöffnet ist, wie es die Figur zeigt, so lässt es den Dampf durch die verschiedenen Wege, welche durch die Pfeile angegeben sind, hindurchgehen. Man sieht, dass in Folge dieser Einrichtung das Ventil nur um eine geringe Grösse gehoben werden darf, um dem Dampf einen weiten Durchgang zu eröffnen; da andererseits das Ventil an seinem oberen Theil eine Oeffnung besitzt, die fast so gross als die an seinem unteren Theil ist, so sucht es die Differenz der Spannkraft des Dampfes in A und B mit viel weniger Kraft auf seinem Sitz festzuhalten, als wenn es aus einer einfachen Scheibe mit konischen Rändern bestünde, wie wir es in der theoretischen Figur der einfach wirkenden Watt'schen Maschine vorausgesetzt haben (Fig. 547, S. 792).

Man nennt das eben beschriebene Ventil gewöhnlich kurz das Cornwaller Ventil.

§. 441. **Das Watt'sche Parallelogramm.** — Man sieht in der Fig. 548 (Seite 798) eine besondere Art der Verbindung der Kolbenstange B mit dem Ende C des Balanciers. Diese Art der Verbindung, deren Erfinder Watt ist, und die desshalb Watt'sches Parallelogramm heisst, hat den Zweck, die Kolbenstange bei ihrer auf- und absteigenden Bewegung, trotz der Kreisbewegung des Punktes C, gerade zu führen. Sehen wir, worin sie besteht.

Drei Stücke AB, CD, BD (Fig. 553) sind sowohl unter sich, als in den Punkten A und C mit dem Balancier durch Gelenke

verbunden. Diese drei Stücke bilden mit dem Theil AC des Balanciers ein Parallelogramm, welches in Folge der Gelenkverbindungen in seinen Ecken leicht seine Gestalt ändern kann. Bei der oscillirenden Bewegung des Balanciers um seine Axe O beschreibt das Ende A einen Kreisbogen, dessen Centrum in O ist. Der Punkt

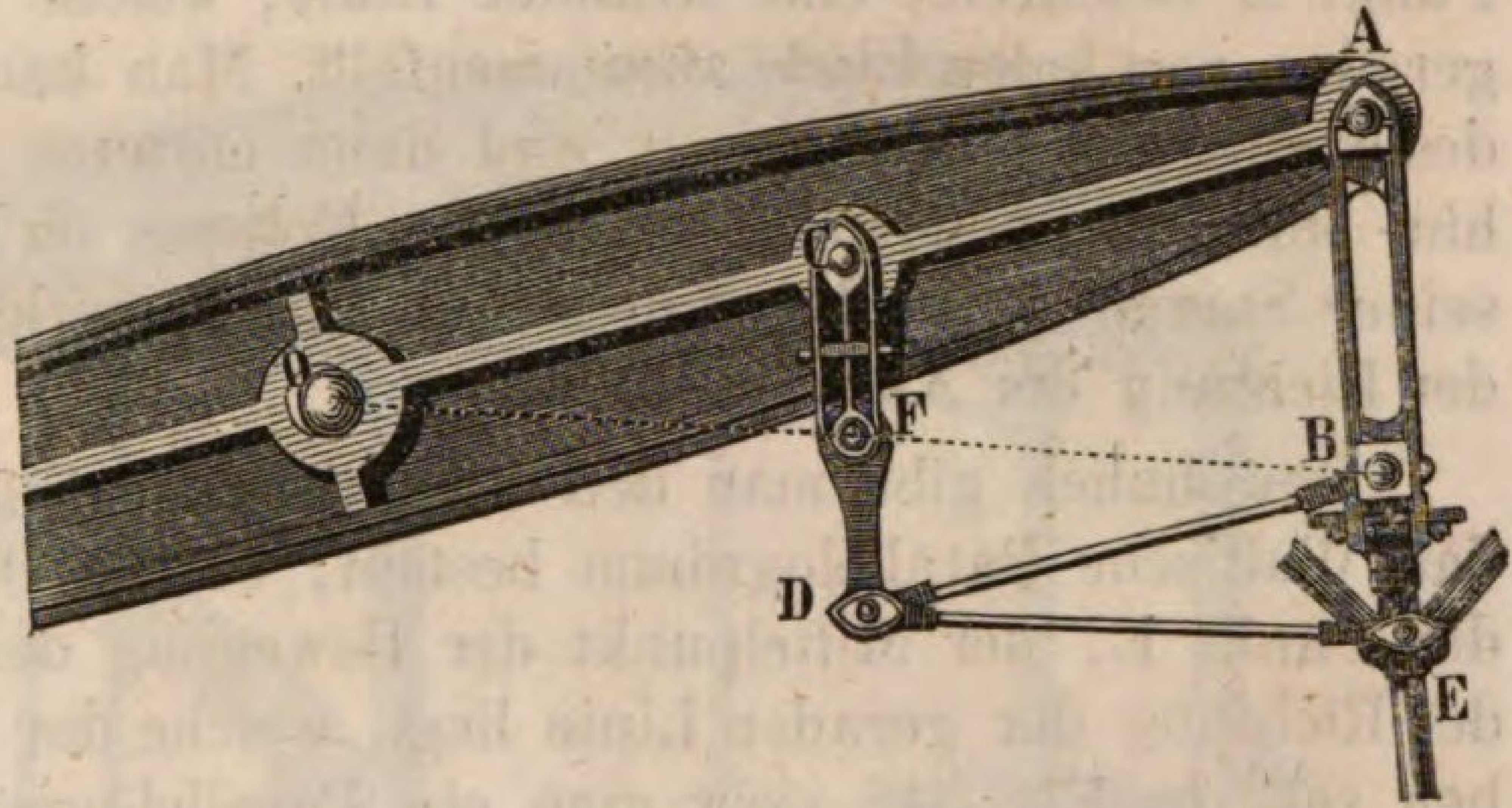


Fig. 553.

B würde gleichfalls einen Kreisbogen mit demselben Mittelpunkt beschreiben, wenn das Parallelogramm ABCD seine Gestalt nicht ändern würde. Aber in Folge der gegenseitigen Beweglichkeit der Stücke, aus denen es besteht, ist es begreiflich, dass man es in dem Maasse, als der Balancier sich bewegt, so umformen kann, dass sich der Punkt B nicht aus ein und derselben Vertikallinie entfernt. Wenn man ein Mittel finden würde, das Parallelogramm zu nöthigen, diese specielle Gestaltsveränderung anzunehmen, so könnte man in dem Punkte B das Ende der Stange eines Kolbens befestigen; diese Stange würde, indem sie zu gleicher Zeit, wie der Balancier schwingt, auf und nieder ginge, fortwährend dieselbe Richtung behalten, ohne dass ihr oberes Ende in Folge der Verbindung mit dem Balancier nach rechts oder links gedrückt würde. Diess erreichte Watt sehr nahezu auf eine ausserordentlich einfache Art. Er hatte bemerkt, dass, wenn man den Punkt B nöthigt, während einer ganzen Schwingung des Balanciers eine gerade vertikale Linie zu beschreiben, der Punkt D seinerseits eine krumme Linie beschreibt, welche sehr nahezu ein Kreisbogen ist; er schloss daraus, dass, wenn man den Punkt D nöthigt, den Kreisbogen, welcher fast vollständig mit jener Curve zusammenfällt, zu beschreiben, der Punkt B sich nicht merklich von der geraden Linie, welche man ihn vorher beschreiben liess, entfernen würde. Um aber den Punkt D zu zwingen, einen Kreisbogen zu beschreiben, darf man ihn offenbar nur mit dem Mittelpunkt E dieses Kreisbogens durch eine Art von kleinem Balancier verbinden. In Folge dieser Einrichtung bleibt die Ecke D des Parallelogramms immer in derselben Entfernung von dem festen Punkte E, welches auch die Lage ist, welche der Balancier einnimmt; das Parallelogramm

ändert in Folge dieser Verbindung des Punktes D mit dem Punkte E bei der Bewegung des Balanciers seine Gestalt allmälig, und der Punkt B beschreibt eine krumme Linie, welche nahezu mit einer geraden vertikalen Linie zusammenfällt. Man kann also die Stange des Kolbens in B festmachen, und dann entfernt sich während der hin- und hergehenden Bewegung des Kolbens im Cylinder das Ende seiner Stange zu beiden Seiten nur um unmerkliche Grössen von der Richtung der Axe des Cylinders.

Gewöhnlich gibt man den verschiedenen Stücken, aus denen das Watt'sche Parallelogramm besteht, solche Dimensionen, dass der Punkt E, der Mittelpunkt der Bewegung des Punktes D, auf der Richtung der geraden Linie liegt, welche der Punkt B beschreiben soll. In Fig. 548 sieht man ein Parallelogramm, bei welchem die Lage des Punktes E eine andere ist; er liegt in bedeutender Entfernung links von der Kolbenstange.

Es gibt in der Seite CD des Watt'schen Parallelogramms noch einen Punkt F, der die Eigenschaft besitzt, sich wie der Punkt B sehr nahezu nach einer geraden, vertikalen Linie zu bewegen. Dieser Punkt liegt in dem Durchschnittspunkt der Seite CD mit der geraden Linie, welche den Punkt B mit dem Mittelpunkt O der Bewegung des Balanciers verbindet. Man benützt gewöhnlich diesen Umstand, um die Bewegung des Balanciers auf den Kolben einer Pumpe zu übertragen, dessen Stange man in dem Punkte F befestigt. Der Weg, welchen dieser Punkt F beschreibt, ist offenbar viel kleiner als der des Punktes B.

§. 442. **Doppelt wirkende Watt'sche Dampfmaschine.** Die Dampfmaschine konnte erst dann eine so allgemeine Anwendbarkeit als Kraftmaschine wie die Wasserräder finden, wenn es möglich wurde, mittelst derselben die Rotationsbewegung einer Welle hervorzubringen: denn nur diese Bewegung kann auf alle Arten von Mechanismen übertragen werden und daher zur Ausführung aller Arten von Arbeiten dienen. Zu diesem Behufe ist es aber wichtig, dass der Dampf nicht intermittirend wirkt, wie es bei der einfach wirkenden Maschine der Fall ist, sondern er muss fortwährend auf den Kolben drücken und denselben vorwärts schieben, welches auch der Sinn ist, in welchem sich derselbe im Innern des Cylinders bewegt. Um diesen Zweck zu erreichen, hat Watt seine doppelt wirkende Dampfmaschine erdacht. Diese Maschine, welche wir nun beschreiben wollen, ist der Typus sowohl der Dampfmaschinen der verschiedensten Form, welche gegenwärtig in einer grossen Menge von Fabriken gebraucht werden, als auch der Treibapparate

der Dampfschiffe, sowie der Lokomotiven, deren man sich auf den Eisenbahnen bedient, geworden.

Die Fig. 554 zeigt die Hauptansicht der Watt'schen Maschine;

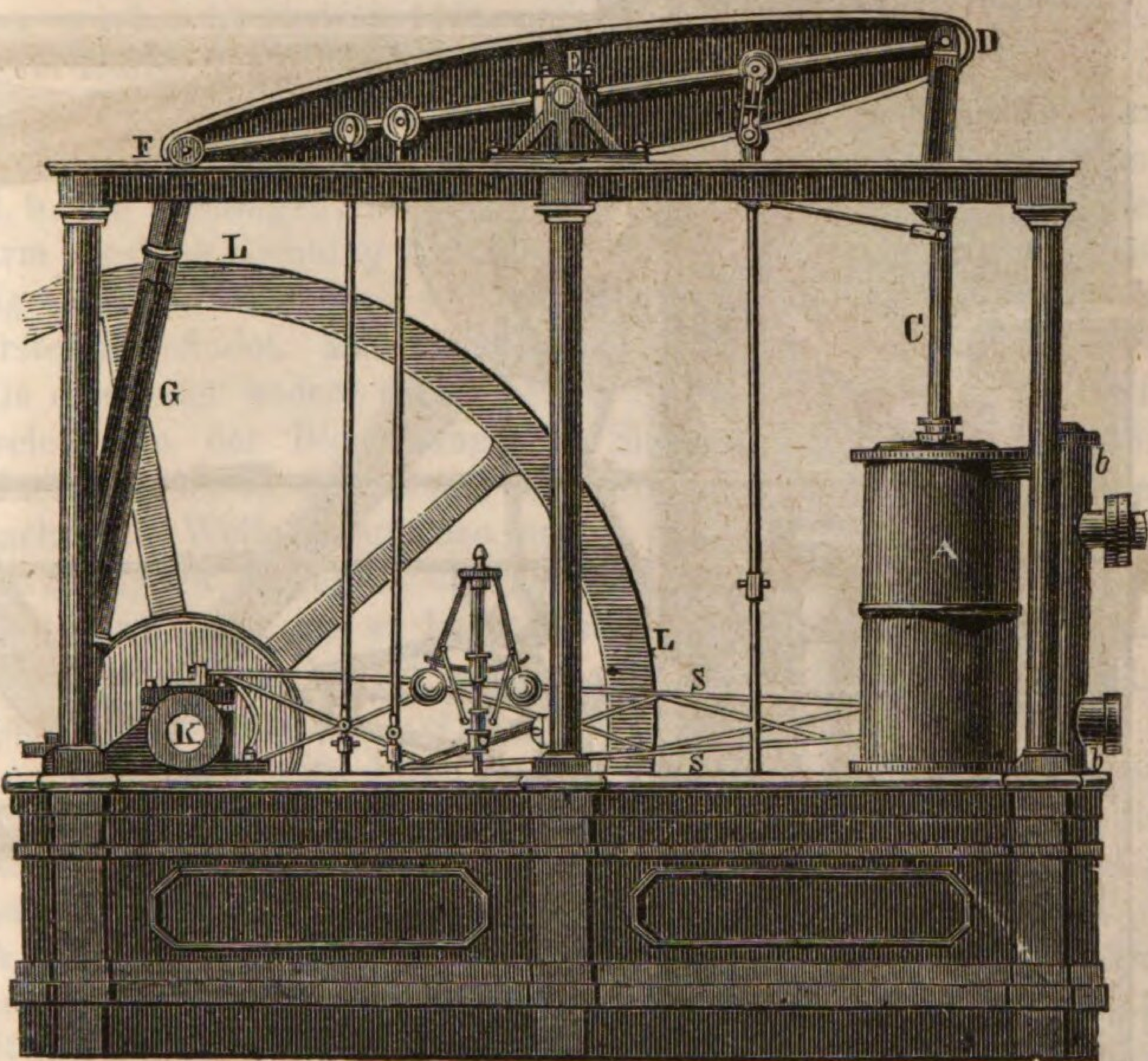


Fig. 554.

die Fig. 555 ist ein Durchschnitt derselben, in grösserem Maassstabe gezeichnet und dazu bestimmt, die inneren Theile sichtbar zu machen. Der Cylinder A ist an beiden Enden geschlossen; in seinem Innern bewegt sich der Kolben B bald in dem einen, bald im entgegengesetzten Sinn. Die Kolbenstange C ist mittelst des Watt'schen Parallelogramms mit dem Ende D des Balanciers DEF verbunden, und die hin und hergehende Bewegung des Kolbens bringt eine oscillirende Bewegung des Balanciers um seine Axe E hervor. Vom anderen Ende F des Balanciers geht eine Bleuelstange G herab, welche bei H den Zapfen einer Kurbel ergreift, die an dem Ende einer horizontalen Welle K befestigt ist. Die oscillirende Bewegung des Balanciers bringt eine hin- und hergehende Bewegung der Bleuelstange hervor, welche, indem sie auf die Kurbel wirkt, der Welle K eine stetige Rotationsbewegung mittheilt. Ein Schwungrad L, welches an der Welle K angebracht ist, hat den

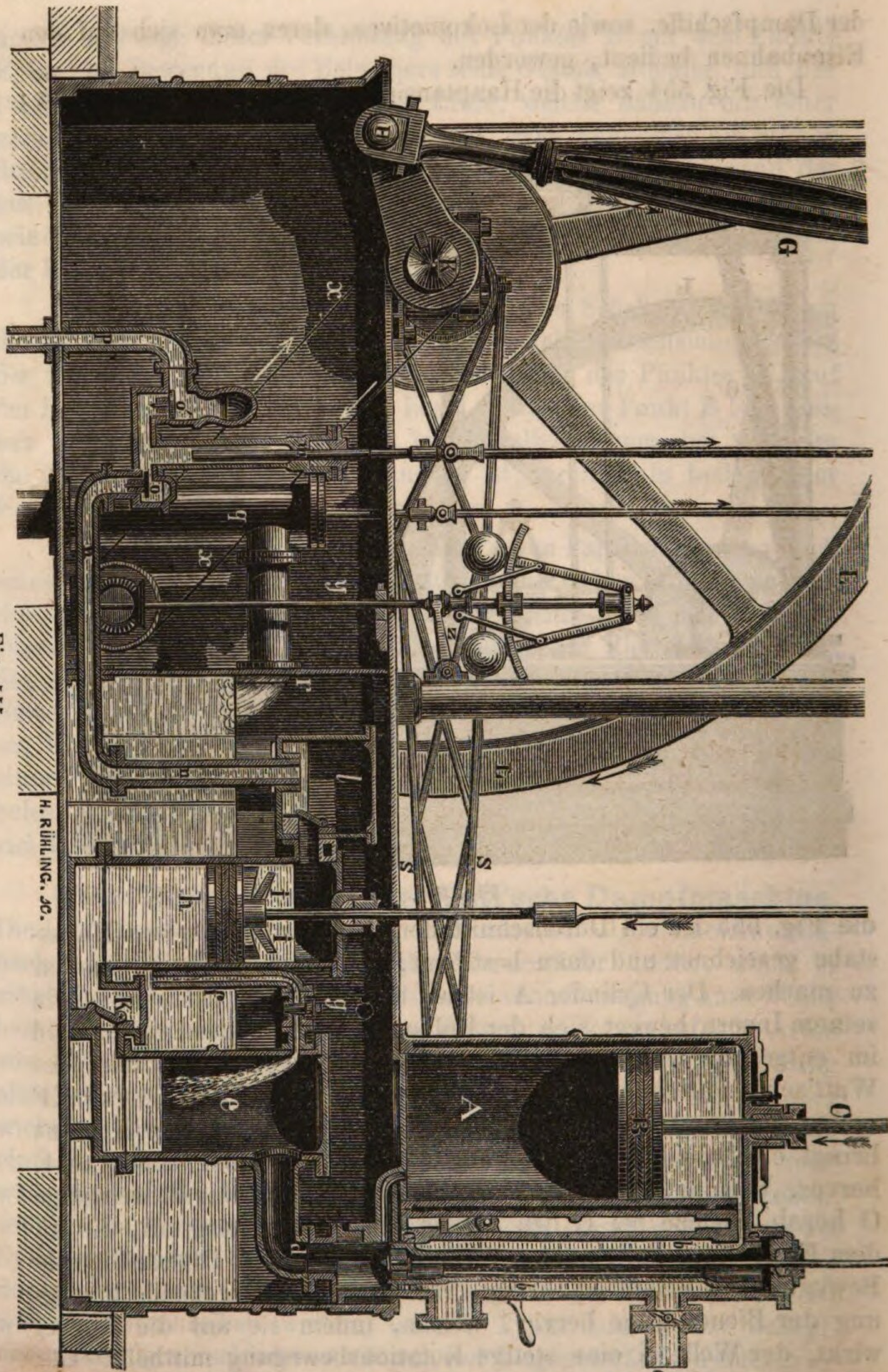


Fig. 555.

Zweck, die Bewegung dieser Welle regelmässiger zu machen, indem es die Unregelmässigkeiten, welche immer vorhanden sind, wenn eine Rotationsbewegung durch eine Bleuelstange und Kurbel hervorgebracht wird (§. 149), auf eine grössere Masse, die in grösserer Entfernung von der Axe der Welle gelegen ist, vertheilt. In Folge der Wirkung dieses Schwungrades überschreitet ausserdem die Welle leicht die Punkte, welche man todte Punkte nennt, d. h. die Stellungen, in welchen die Bleuelstange und der Kurbelarm dieselbe Richtung haben, sei es nun, dass sie sich gegenseitig decken, oder dass sich der letztere in der Verlängerung des ersteren befindet. Man sieht in der That, dass wenn die Welle in die eine oder andere dieser beiden Stellungen kommt, die Kraft, welche an der Bleuelstange im Sinne ihrer Länge wirkt, die Kurbel weder in dem einen, noch in dem anderen Sinne zu drehen sucht; die Welle kann also nur in Folge ihrer gewonnenen Geschwindigkeit fortfahren sich zu drehen, und diese Fortsetzung der Bewegung findet um so leichter statt, je grössere Massen von der Welle mit herum bewegt werden und mit je grösserer Geschwindigkeit diess geschieht (vergl. §. 154).

Der Dampf wird durch die Röhre *a* (Fig. 555) aus dem Kessel in den Cylinder geleitet. Diese Röhre mündet zunächst in einen Raum *b*, welchen man die Dampfkammer nennt, und von dem aus der Dampf vertheilt wird, sei es um oben, sei es um unten in den Cylinder zu gelangen, je nachdem der Kolben abwärts oder aufwärts geht. In der Dampfkammer bewegt sich ein besonderes Stück, der Schieber genannt, welches dazu bestimmt ist, den Dampf, welcher aus dem Kessel kommt, bald über, bald unter den Kolben zu leiten und zu gleicher Zeit den Theil des Cylinders, gegen welchen sich der Kolben bewegt, mit dem Condensator in Verbindung zu setzen. Die Fig. 556 zeigt den Schieber allein. Er besteht aus einer Art hohler Röhre, welche sich an beiden Enden erweitert und mit einer Stange versehen ist, die dazu gehört ihn in der Dampfkammer auf und ab zu bewegen. Die Fig. 557 u. 558 zeigen die beiden Stellungen, welche der Schieber annehmen muss, je nachdem der Kolben ab- oder aufwärts geht; sie geben übrigens grösstentheils nur einen Theil der Figur 555 in grösserem Maassstabe nochmals. Man sieht, dass sich der Schieber mit den kleinen ebenen Stellen *c*,*c* gegen die ebenen Flächen stützt, welche sich zunächst den Oeffnungen befinden, die oben und unten in den Cylinder münden. An dem übrigen Theil seines Umfanges sind ausserdem gegen seine Enden hin Wergliderungen angebracht, sodass er auf allen Seiten genau an den Wänden der Dampfkammer

anliegt. Man sieht, dass auf diese Weise die Dampfkammer in zwei gänzlich getrennte Theile getheilt ist. Der eine dieser Theile, welcher

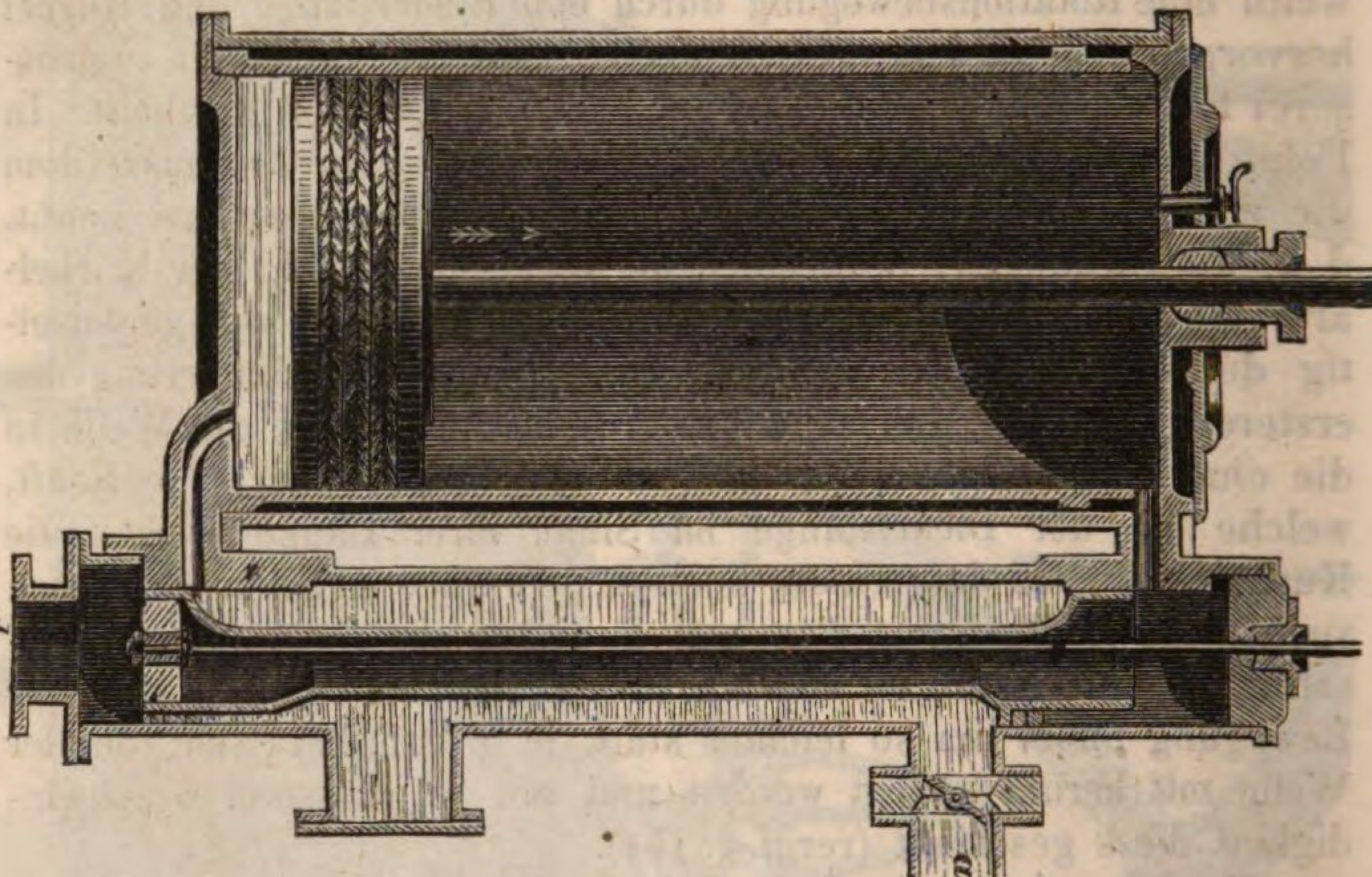


Fig. 558.

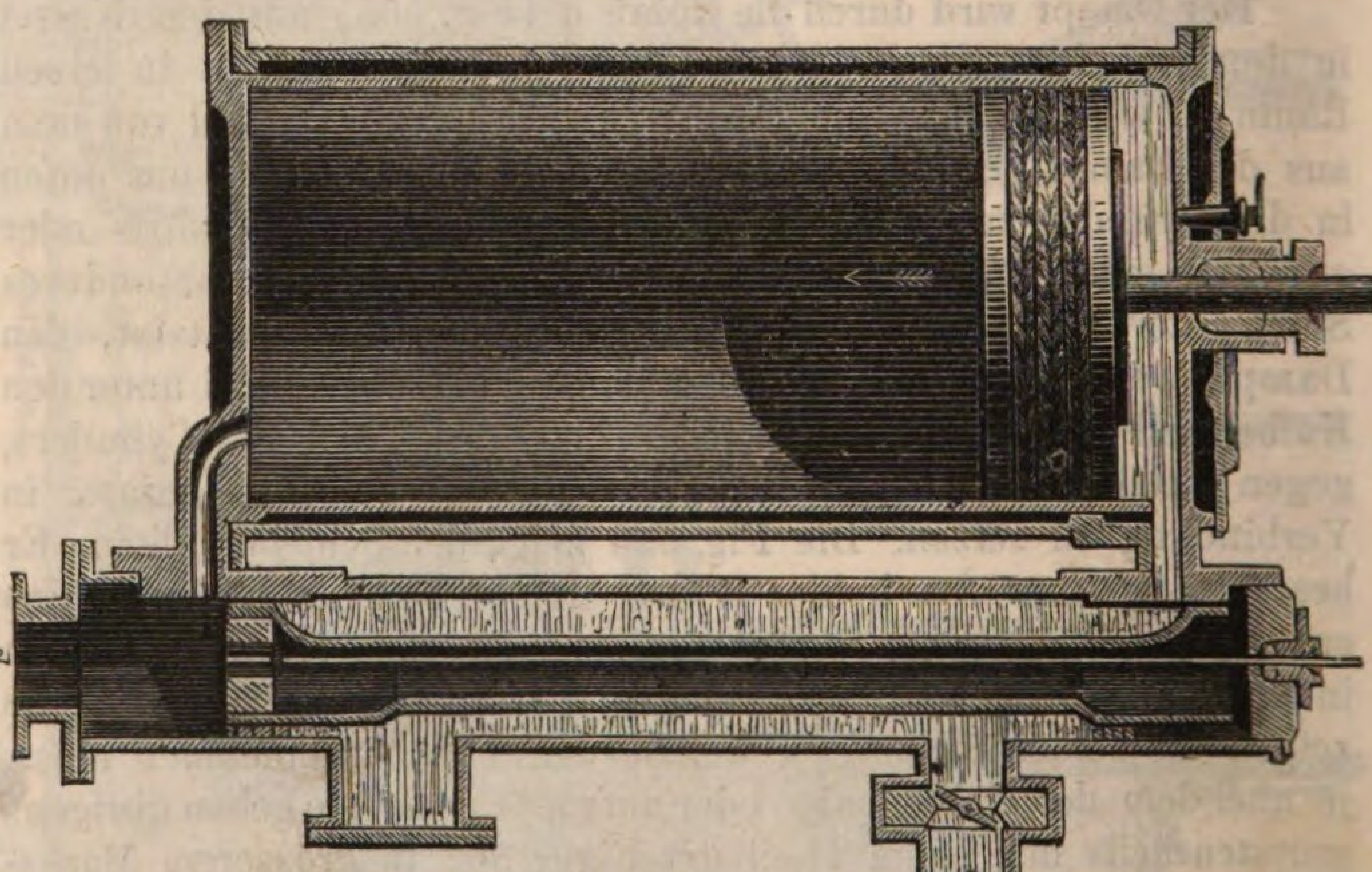


Fig. 557.

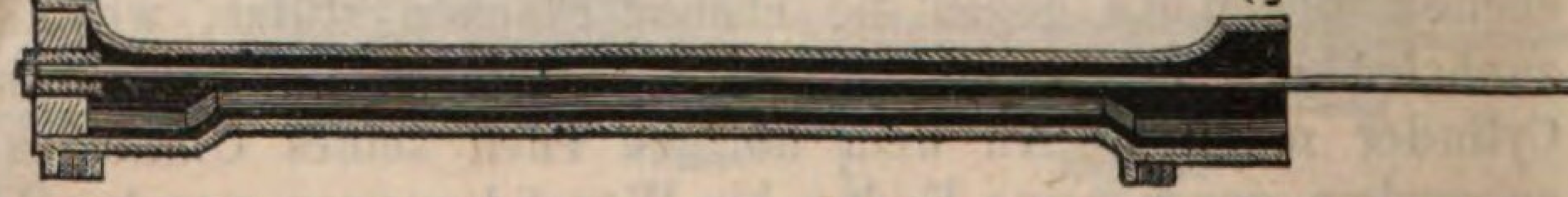


Fig. 556.

von dem ringförmigen Raum rings um den Schieber gebildet wird, steht fortwährend mit der Röhre *a*, welche den Dampf zuleitet, in

Verbindung. Der andere Theil, der aus den beiden Enden der Dampfkammer, die durch den hohlen Raum des Schiebers mit einander vereinigt werden, besteht, communicirt stets mit der Röhre *d* (Fig. 555), welche in den Condensator *e* mündet. Die Fig. 557 zeigt den Schieber in seiner obersten Stellung; der Dampf, welcher aus dem Kessel kommt, geht um den Schieber herum und strömt in den oberen Theil des Cylinders; der untere Theil desselben steht mit dem Condensator in Verbindung, und der Kolben geht folglich unter der Wirkung des Ueberschusses des Druckes, den er auf seiner oberen Fläche erfährt, abwärts. Die Fig. 558 zeigt den Schieber in seiner tiefsten Stellung; der Dampf aus dem Kessel tritt unter den Kolben; derjenige, welcher sich über dem Kolben befindet, strömt, indem er den Schieber seiner ganzen Länge nach durchdringt, in den Condensator, und der Kolben geht in die Höhe.

Eine Röhre *f* (Fig. 555) führt fortwährend einen Strahl kalten Wassers in den Condensator *e*. Diese Röhre ist mit einem Hahne *g* versehen, mittelst dessen man eine grössere oder geringere Verengung derselben hervorbringt, um den Wasserzufluss in den Condensator zu reguliren. Das warme Wasser, welches sich am Boden des Condensators ansammelt, und welches theils von dem condensirten Dampf, theils von dem durch die Röhre *f* eingeführten Condensationswasser herrührt, wird fortwährend durch eine L u f t p u m p e herausgezogen. Diese Pumpe dient, wie ihr Name schon sagt, zu gleicher Zeit dazu, dle im Condensator enthaltene Luft zu entfernen, wie wir das ausführlicher schon bei Gelegenheit der Cornwaller Maschine erklärt haben (§. 438). Der Kolben *h* der Luftpumpe ist durch eine lange Stange mit dem Punkte des W a t t'schen Parallelogrammes verbunden, welcher in der Fig. 553 (S. 807) mit F bezeichnet ist, und welcher die Eigenschaft besitzt, sich ebenso wie der Punkt B sehr nahezu in einer geraden vertikalen Linie zu bewegen. Durch den Kolben *h* gehen zwei Oeffnungen, die mit Ventilen *i,i* versehen sind, welche sich von unten nach oben öffnen. Die Röhre, welche den Condensator mit dem unteren Theile der Luftpumpe in Verbindung setzt, ist gleichfalls mit einem Ventil *k* versehen, welches sich nach der Seite der Pumpe hin öffnet.

Das warme Wasser, welches die Luftpumpe fortwährend aus dem Condensator saugt, gelangt in einen Trog *l*. Ein Theil dieses Wassers wird von der Speisepumpe genommen, welche es in den Kessel drückt, um dasjenige wieder zu ersetzen, welches in Form von Dampf aus demselben entweicht. Der Kolben *m* der Speisepumpe wird ebenfalls durch den Balancier in Bewegung gesetzt. Wenn er sich erhebt, wird das Wasser aus dem Troge *l* durch die

Röhre *n* aufgesaugt und dringt durch das Ventil *o*, das geöffnet ist; wenn der Kolben darauf wieder niedergeht, schliesst sich das Ventil *o*, das *o'* öffnet sich dagegen, und das Wasser wird in die Röhre *p* gedrückt, welche es in den Kessel leitet.

Eine dritte Pumpe *q*, welche gleichfalls durch den Balancier bewegt wird, schöpft das kalte Wasser aus einem Brunnen oder aus einem benachbarten fliessenden Gewässer und pumpt es durch die Oeffnung *r* in ein besonderes Reservoir. Dieses kalte Wasser ist es, welches sich durch die Röhre *f* in den Condensator ergiesst und in demselben in Form eines Regens niederfällt, um den Dampf zu condensiren. Der Durchfluss des Wassers durch die Röhre *f* wird durch den Ueberschuss des Druckes der atmosphärischen Luft, welche frei auf den Spiegel der Flüssigkeit im Reservoir wirkt, über den Druck, der im Condensator stattfindet, hervorgebracht.

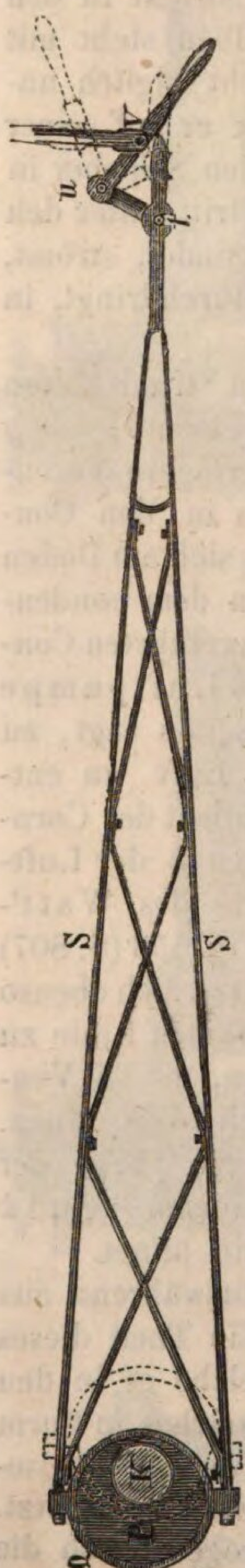


Fig. 559.

Die hin und hergehende Bewegung, welche der Schieber annehmen muss, um den Dampf bald auf die obere, bald auf die untere Seite des Kolbens wirken zu lassen, wird ihm durch die Maschine selbst ertheilt. Zu diesem Zwecke trägt die Schwungradwelle K ein Stück P (Fig. 559), dessen Umfang ein Kreis ist, der jedoch seinen Mittelpunkt ausserhalb der Axe liegen hat, um welche sich die Welle K dreht. Dieses Stück wird mit dem Namen Excentrik bezeichnet. Es ist von einem Ring Q umgeben, innerhalb dessen es, indem es sich dreht, gleiten kann. Während der Bewegung der Welle K wird der Theil der Excentrik P, welcher am meisten über die Welle vorsteht, bald nach rechts, bald nach links geführt. Da sich der Ring Q, der mit den Stangen S,S verbunden ist, nicht mit der Excentrik drehen kann, so wird er durch dieselbe blos einmal nach rechts, einmal nach links geschoben, und daraus folgt also eine hin- und hergehende Bewegung der Stangen S,S. Diese Stangen vereinigen sich an ihren, dem Ringe Q entgegengesetzten Enden miteinander und besitzen dort einen Einschnitt, mittelst dessen sie

den Zapfen *t* eines Winkelhebels *tuv* ergreifen. In Folge der hin- und hergehenden Bewegung der Stange S,S dreht sich der Hebel *tuv* um seinen festen Punkt *u* bald in dem einen, bald in dem anderen Sinn; diese seine oscillirende Bewegung überträgt sich auf einen vertikalen Stab, welcher einerseits in *v* mit dem Winkelhebel, andererseits mit der Schieberstange in Gelenken verbunden ist. Man sieht also, dass die Maschine, einmal in Bewegung gesetzt, diese Bewegung von selbst forterhält, weil sie mittelst der Excentrik P, wenn diese nur richtig angebracht ist, selbst immer den Schieber in die Stellung führt, welche er einnehmen muss, damit der Dampf fortfährt seine Wirkung auszuüben. Um die Maschine in Bewegung zu setzen, hebt man den Handgriff, in welchen sich die Stangen S,S endigen, in die Höhe, damit sich der Hebel *tuv* frei drehen kann; hierauf ergreift man die Handhabe, in welche sich der Arm *uv* endigt, und bewegt den Hebel so, dass dadurch dem Schieber nach und nach die Stellungen gegeben werden, welche er annehmen muss, damit der Dampf abwechselnd auf die beiden Seiten des Kolbens wirken kann. Sobald die Maschine in Gang ist, stellt man die Verbindung der Stangen S,S mit dem Hebel *tuv* wieder her, und die Bewegung setzt sich nun von selbst weiter fort.

Man sieht in Fig. 555 einen Riemen ohne Ende *xx*, mittelst dessen die Rotationsbewegung der Welle K auf eine vertikale Welle *y* übertragen wird. Diese Welle trägt einen Centrifugalregulator, einen Apparat, dessen Princip und Wirkungsweise wir bereits oben (§. 152) kennen gelernt haben. Dieser Regulator ist so eingerichtet, dass er von selbst auf die Maschine wirkt, um die Grösse der bewegenden Kraft zu vermindern oder zu vermehren, je nachdem die Geschwindigkeit zu schnell oder zu langsam wird. Zu diesem Zweck besitzt die Hülse, welche die untere Spitze des in Gelenken beweglichen Parallelogrammes bildet, an ihrem Umfange eine kreisrunde Rinne, ähnlich dem Halse einer Rolle. Ein Hebel *z*, welcher an dem einen seiner Enden an einer horizontalen Axe befestigt ist, endigt sich am anderen Ende in eine Gabel, deren beide Arme sich in die Rinne legen, von der wir eben gesprochen haben. Diese Gabel *z* stört die Rotationsbewegung der Hülse des Regulators, welche sich frei zwischen den Armen der Gabel drehen kann, in keiner Weise. Aber wenn die Rotationsbewegung sich beschleunigt, so entfernen sich die Kugeln des Regulators von einander, die Hülse steigt, und die Gabel des Hebels *z* wird gehoben; diese Gabel senkt sich dagegen, wenn sich die Bewegung der Maschine verzögert. Man sieht daraus, dass der Hebel *z* die horizontale Axe, an welcher er befestigt ist, in dem einen oder anderen Sinn dreht, je nachdem die Ma-

schine schneller oder langsamer geht. Diese Bewegung setzt sich durch eine Reihe von Stangen und Hebeln, deren Anordnung man sich leicht denken kann, bis zur Axe eines Drosselventils fort, das in der Röhre angebracht ist, welche den Dampf aus dem Kessel in die Dampfkammer führt, wie man es in Fig. 555, 557 und 558 sieht. In Folge dessen stellt sich dieses Ventil so, dass es den Durchweg des Dampfes in dem Maasse verengt, als die Bewegung der Maschine schneller wird, während es, wenn dieselbe zu langsam geht, dem Dampf einen weiteren Durchgang als gewöhnlich gestattet.

Die doppelt wirkende Dampfmaschine hat seit Watt verschiedene Modificationen erfahren, die theils eine vortheilhaftere Wirkungsweise des Dampfes, theils eine grössere Einfachheit in der Construction, theils eine passendere Anordnung unter dem Gesichtspunkt des Raumes, den die Maschine einnehmen soll, u. s. w. zum Zwecke haben. Wir wollen nicht auf alle diese Aenderungen näher eingehen, da sie uns zu weit führen würden; wir begnügen uns damit, die wichtigsten derselben kennen zu lernen.

§. 443. **Metallkolben.** Bei der ersten Dampfmaschine benützte man solche Kolben, die wie diejenigen bei den Pumpen mit einer Liderung von Hanf an ihrem Umfange versehen waren. Die Elasticität dieser Liderung gestattete dem Kolben, sich in allen Theilen seines Umfanges genau an die innere Fläche des Cylinders anzulegen, trotz der Unvollkommenheiten, welche diese Fläche darbieten konnte. Aber diese Liderung musste häufig neu angetrieben (vgl. §. 368) oder auch ganz erneuert werden, da sie sich rasch abnützte. Die seit dieser Zeit erreichte Vervollkommnung in den Metallarbeiten machte es möglich, die Hanfliderung vollständig aufzugeben und Kolben, ganz von Metall, anzuwenden. In der That kann man jetzt die innere Fläche eines Cylinders mit solcher Genauigkeit aushobeln, oder wie man sagt ausbohren, dass alle Ungleichheiten, welche dieselbe noch besitzen kann, vollständig verschwinden und ein Kolben mit gut kreisförmigen Umfang ringsum mit aller Genauigkeit an ihr anliegen kann. Es ist indessen nothwendig, dem Umfange des Kolbens eine gewisse Biegsamkeit zu lassen, da es ausserdem schwer wäre, einen genauen Anschluss zwischen ihm und dem Cylinder herzustellen, ohne dass eine sehr grosse Reibung und selbst ein gegenseitiges Angreifen ihrer Oberflächen daraus folgen würde. Desshalb richtet man die Kolben so ein, wie man diess an zwei Beispielen in Fig. 560 bis 563 sieht. Jeder dieser Kolben wird so zu sagen aus zwei Lagen Metallsektoren gebildet, die zwei übereinander gelegene Ringe bilden. Diese Ringe sind zwischen zwei kreisrunden Metallscheiben von etwas kleinerem Durchmesser enthalten

ohne jedoch so stark von denselben geklemmt zu werden, dass die Stücke, aus denen sie bestehen, nicht noch zwischen diesen Schei-

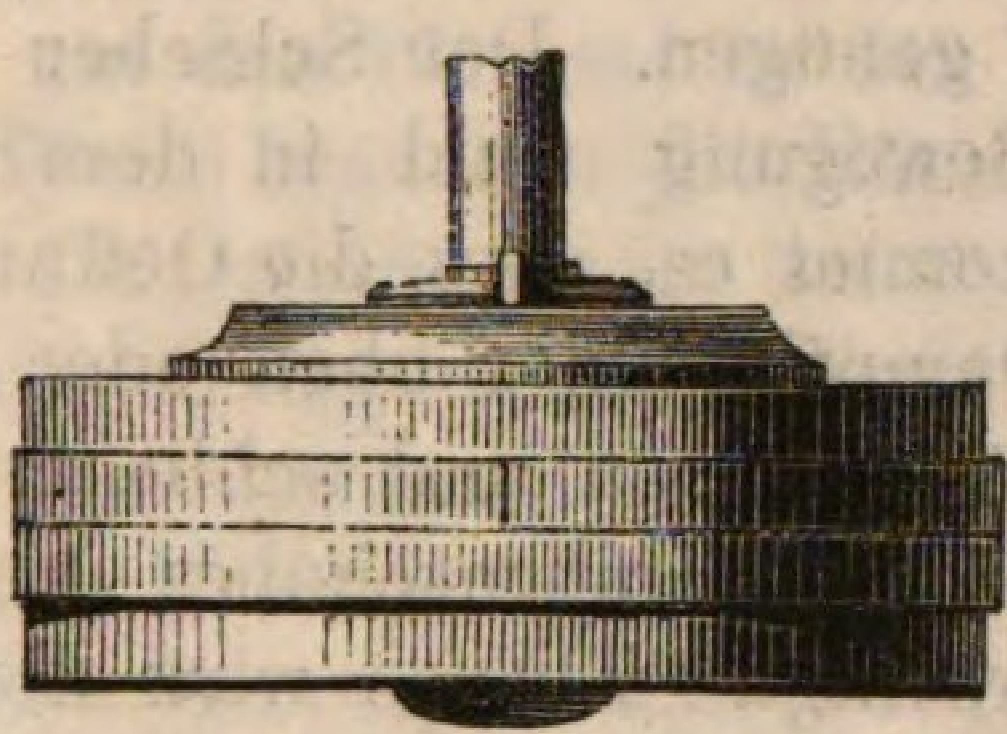


Fig. 560.

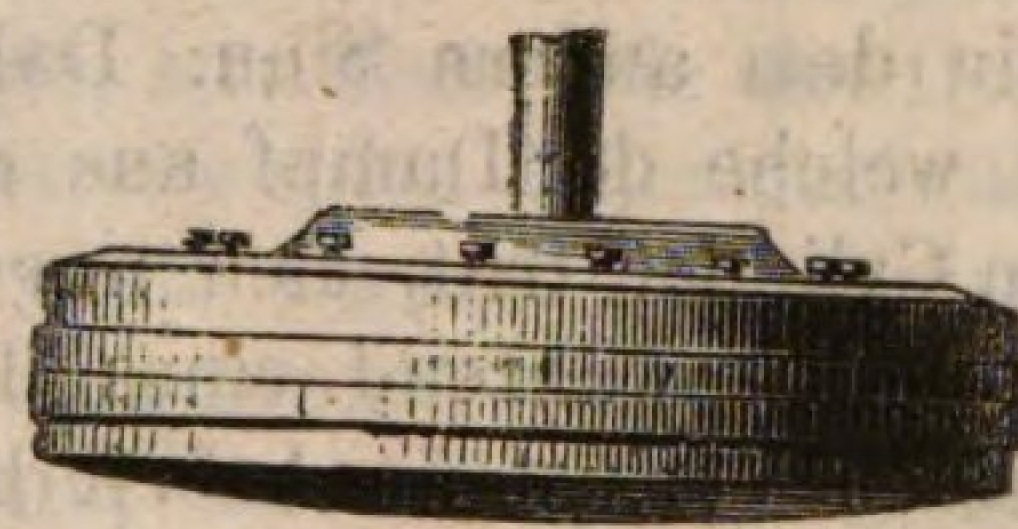


Fig. 562.

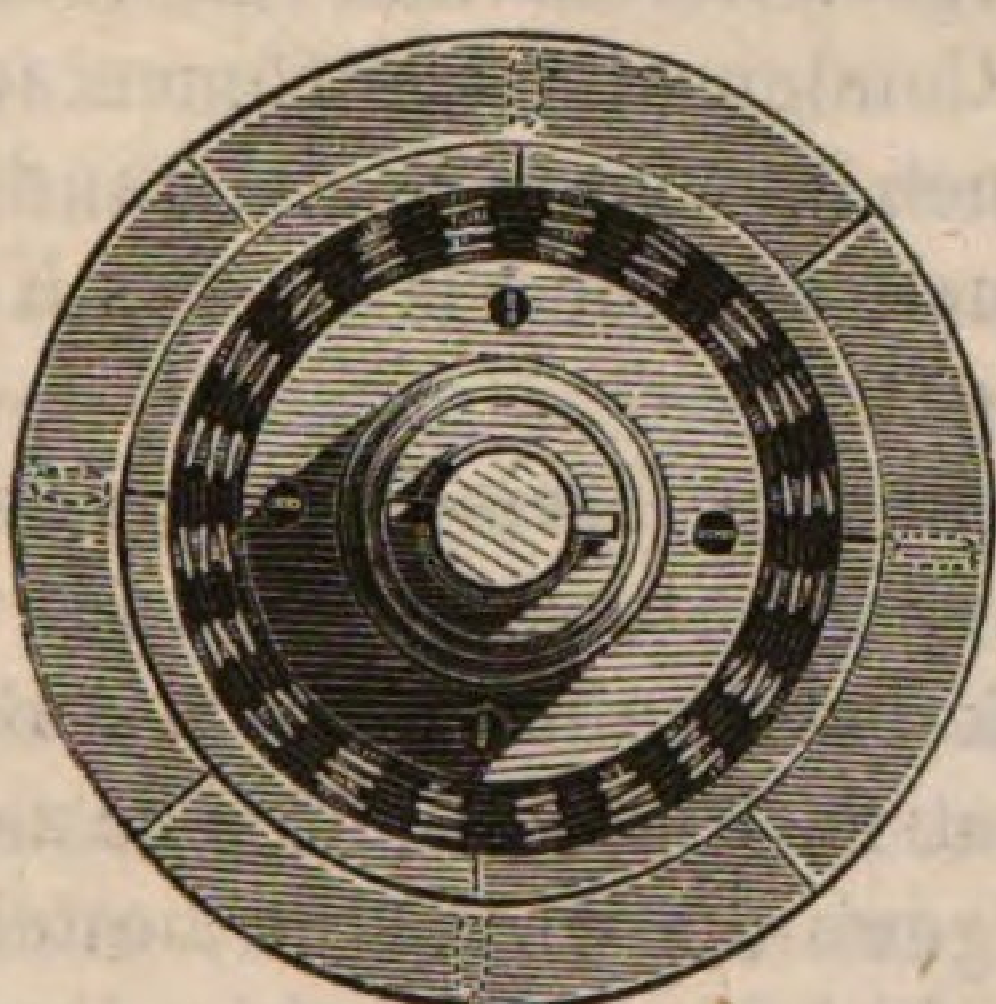


Fig. 561.

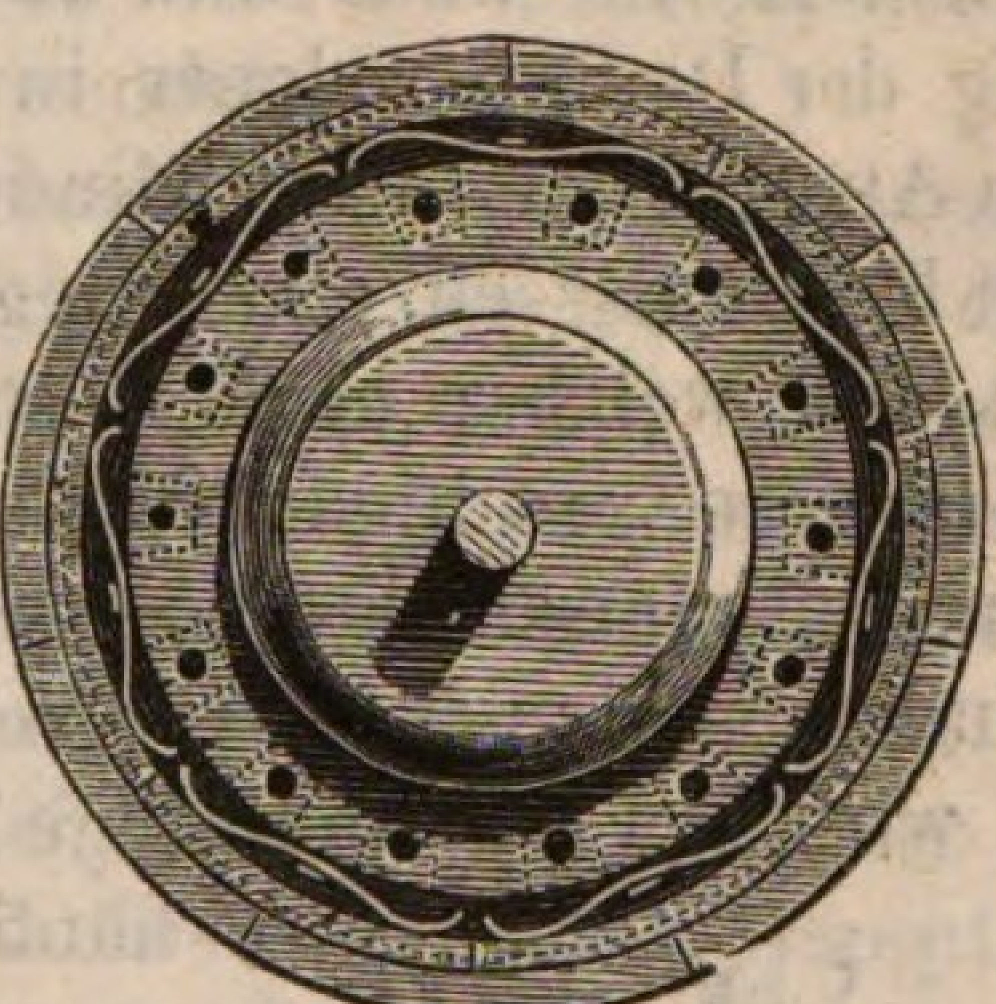


Fig. 563.

ben gleiten und sich dadurch der Axe des Kolbens mehr nähern oder von derselben entfernen könnten. Federn, welche im Innern des Cylinders angebracht sind, suchen die Metallsektoren fortwährend nach Aussen zu drücken; in Folge dessen legen sich dieselben genau an die Oberfläche des Cylinders an, können aber, indem sie sich der Axe mehr nähern, doch nachgeben, wenn besondere Umstände sie dazu nöthigen. Die Federn des Kolbens, der in Fig. 560 und 561 dargestellt ist, sind Spiralfedern und in grosser Anzahl vorhanden; diejenigen des anderen Kolbens (Fig. 562 und 563) sind einfache federnde Blechstreifen, die in ihrer Mitte befestigt sind und mit ihren Enden auf die Metallsektoren wirken.

§. 444. **Dreieckige Excentrik.** — Wir haben gesehen, dass damit in der doppelt wirkenden Maschine der Dampf bald über, bald unter dem Kolben wirken kann, der Schieber zwei verschiedene Stellungen annehmen muss. Damit der Vorgang genau so stattfände, wie wir es vorausgesetzt haben, müsste der Schieber in jeder dieser Stellungen unbeweglich stehen bleiben, so lange der Sinn der Bewegung des Kolbens derselbe bliebe, während er schnell von einer Stellung in die andere übergehen müsste, sobald der Schieber den Sinn seiner Bewegung wechseln sollte. Die Excentrik, welche wir

bei der Watt'schen Maschine beschrieben haben, und welche dazu bestimmt ist den Schieber zu bewegen, ist weit davon entfernt, den eben angegebenen Bedingungen zu genügen. Der Schieber erhält von derselben eine continuirliche Bewegung bald in dem einen, bald in dem andern Sinn. Daher kommt es, dass die Oeffnungen, durch welche der Dampf aus der Dampfkammer oben oder unten in den Cylinder tritt, sich nur allmälig öffnen und schliessen; sie sind folglich während eines Theiles des Kolbenschubes verengt, was einen Verlust an Arbeit hervorbringt. Ebenso wird die Verbindung zwischen einem der beiden Theile des Cylinders und dem Condensator nur nach und nach hergestellt; daraus folgt, dass am Anfang der Dampf, welcher in den Condensator abströmen soll, bei seinem Austritt aus dem Cylinder einen gewissen Widerstand findet und in Folge dessen einen Gegendruck auf die Fläche des Kolbens ausübt, mit welcher er in Berührung ist.

Um diese verschiedenen Nachtheile der Kreis-Excentrik zu vermeiden, hat man sie durch andere ähnliche Stücke ersetzt, für welche man indessen den Namen Excentrik beibehalten hat. Als Beispiel geben wir hier die dreieckige Excentrik (Fig. 564), welche ziemlich häufig angewandt wird. Sie besteht aus einem Stück A, in Form eines Dreieckes mit kreisförmig gekrümmten Seiten, welches an einer rotirenden Welle B befestigt ist; dieses Stück befindet sich in einem rechteckigen Rahmen, welcher die Stange CC trägt, und wirkt auf dessen beide Langseiten in der Weise, dass es der Stange CC, die mit dem Schieber in Verbindung steht, eine hin- und hergehende Bewegung ertheilt. Aus der Form des Stückes A ersieht man, dass der Schieber von dem einen Ende seines Weges an das andere schneller übergeht, als wenn er durch eine Kreis-Excentrik bewegt würde, und noch mehr, dass er in jeder dieser äussersten Stellungen einige Zeit unbewegt stehen bleibt.

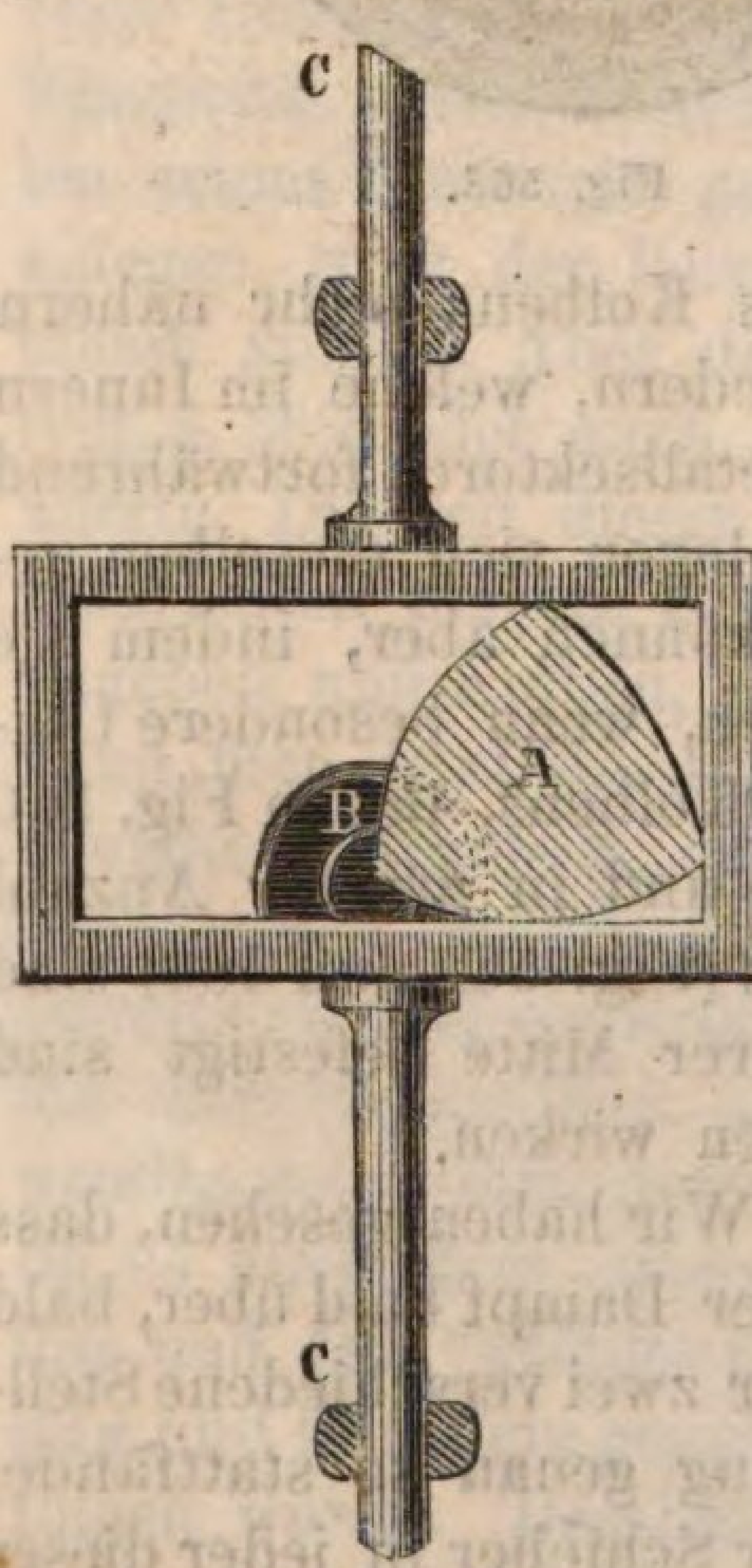


Fig. 564.

Man kann die Nachtheile, welche wir oben angegeben haben, grösstentheils vermeiden, ohne die Kreis-Excentrik verlassen zu müssen. Zu diesem Zwecke reicht es hin, den Oeffnungen, welche der Schieber nach und nach mit der Dampfkammer und mit dem Condensator in Verbindung setzen soll, eine geringe Höhe und

dafür grössere Breite zu geben und den Weg des Schiebers beträchtlich grösser zu machen, als es, streng genommen, nothwendig wäre, um den Wechsel in den Verbindungen hervorzubringen. Auf diese Weise brauchen die Ränder des Schiebers nur einen geringen Theil der ganzen Dauer seines Weges, um über jede der Oeffnungen hinwegzugehen, und diese letzteren werden daher nur während eines sehr kurzen Zeitintervalles verengt. Da auf diese Weise mittelst der Kreis-Excentrik ebenfalls eine passende Vertheilung des Dampfes hervorgebracht werden kann, und dieselbe wegen ihrer einfachen Construction und der daraus folgenden grösseren Solidät Vortheile vor den anderen besitzt, so wird sie noch bei der grössten Zahl von Dampfmaschinen angewendet.

Damit der Dampf möglichst gleichmässig und die Maschine möglichst vortheilhaft wirke, ist es nöthig, dass der Schieber die betreffende Oeffnung schon zu eröffnen anfängt, wenn der Treibkolben noch nicht ganz seinen Weg zurückgelegt hat, weil dann sogleich beim Anfang des entgegengesetzten Kolbenlaufes der neu einströmende Dampf mit aller Stärke wirken kann. Aus dem entgegengesetzten Grunde ist es ebenso auch vortheilhaft, dass der Schieber schon vor dem Ende des Treibkolbenweges den Dampfzutritt aufhebe und den Dampfabführungsweg öffne. Man bringt dieses zeitigere Eröffnen und Schliessen der Oeffnungen durch gewisse Verhältnisse zwischen den Dimensionen des Schiebers und denen der Dampfwege hervor und nennt es das V o r e i l e n d e s S c h i e b e r s. Nach den gemachten Erfahrungen ist besonders das zeitigere Eröffnen des Abzugsweges von Vortheil, und man findet bei den bestehenden besseren Maschinen, dass das Voreilen des Schiebers auf der Seite des Abflusses $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{15}$ ist, d. h. dass der Schieber beim tiefsten oder höchsten Kolbenstande bereits eine Abflussöffnung hergestellt hat, deren Höhe $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{15}$ von dem ganzen Wege des Schiebers ist. Das Voreilen des Dampfschiebers auf der Seite des Zutrittes ist dagegen viel kleiner und beträgt oft nur $\frac{1}{100}$ des ganzen Schieberweges.

§. 445. **Expansions-Excentrik.** — Der grosse Vortheil, welchen die Anwendung der Expansion des Dampfes (§. 437) unter dem Gesichtspunkt der Ersparung von Brennmaterial darbietet, war die Veranlassung, dass man auch bei den doppelt wirkenden Maschinen gesucht hat, diese Art der Wirkungsweise des Dampfes einzuführen. Zu diesem Zwecke reicht es hin, dem Schieber nach und nach verschiedene Stellungen zu geben, in deren jeder er während einer gewissen Zeit unbeweglich bleibt; die Figuren 565 bis 568 werden diess leicht verständlich machen. Der Schieber A ist hier

auf seine einfachste Form reducirt, welche jetzt allgemein angenommen ist; er besteht aus einem hohlen Metallstücke, das un-

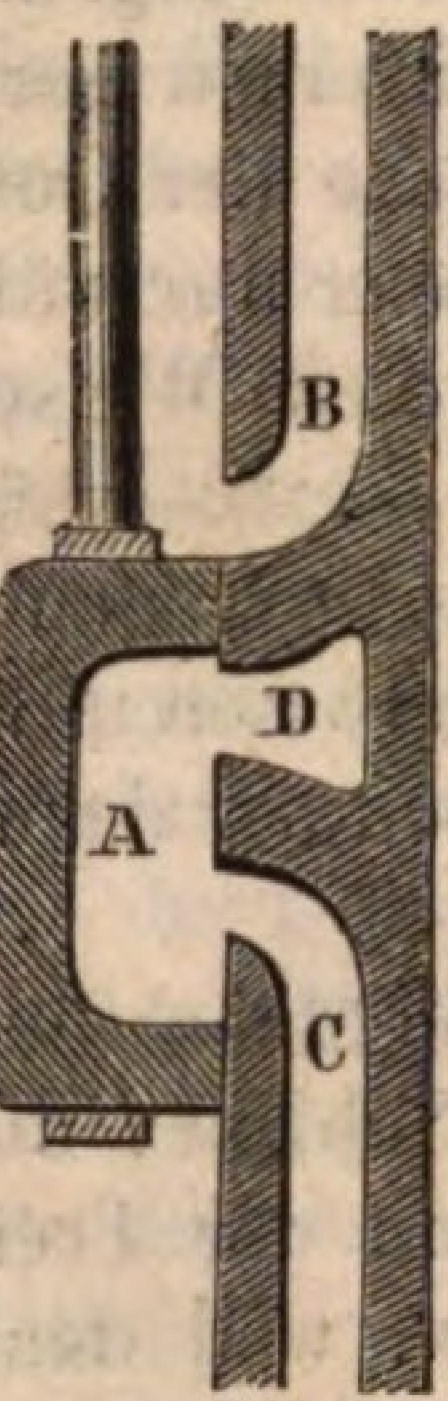


Fig. 565.

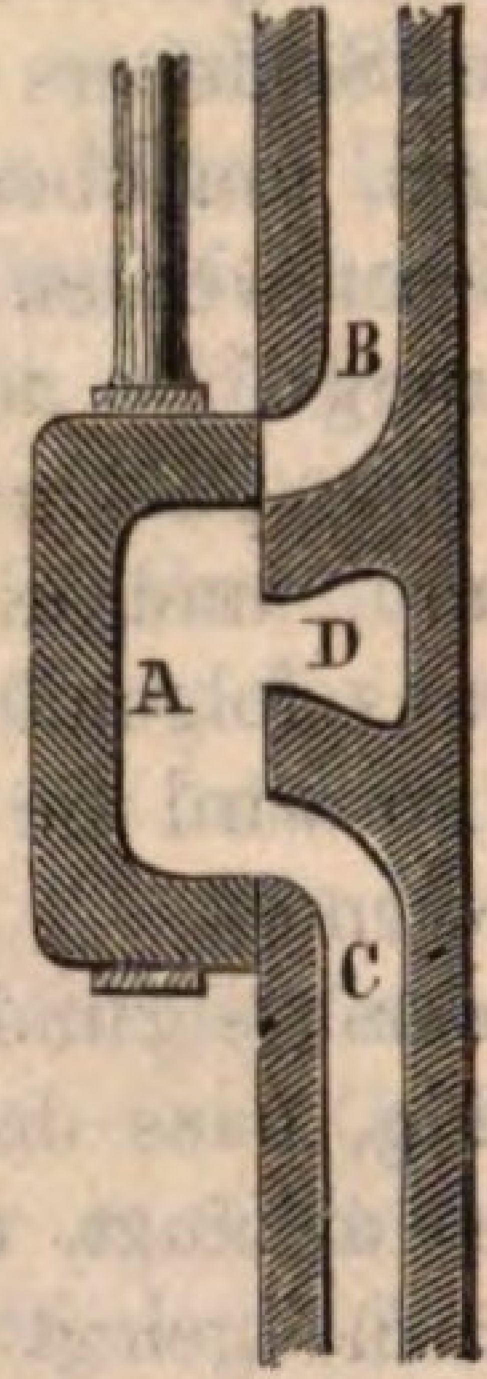


Fig. 566.

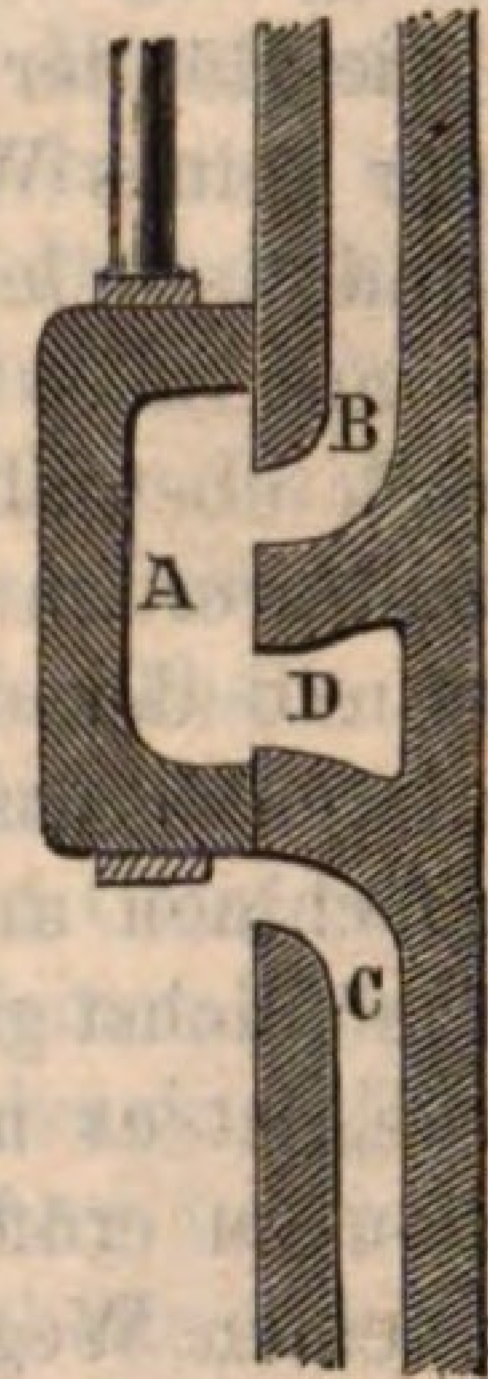


Fig. 567.

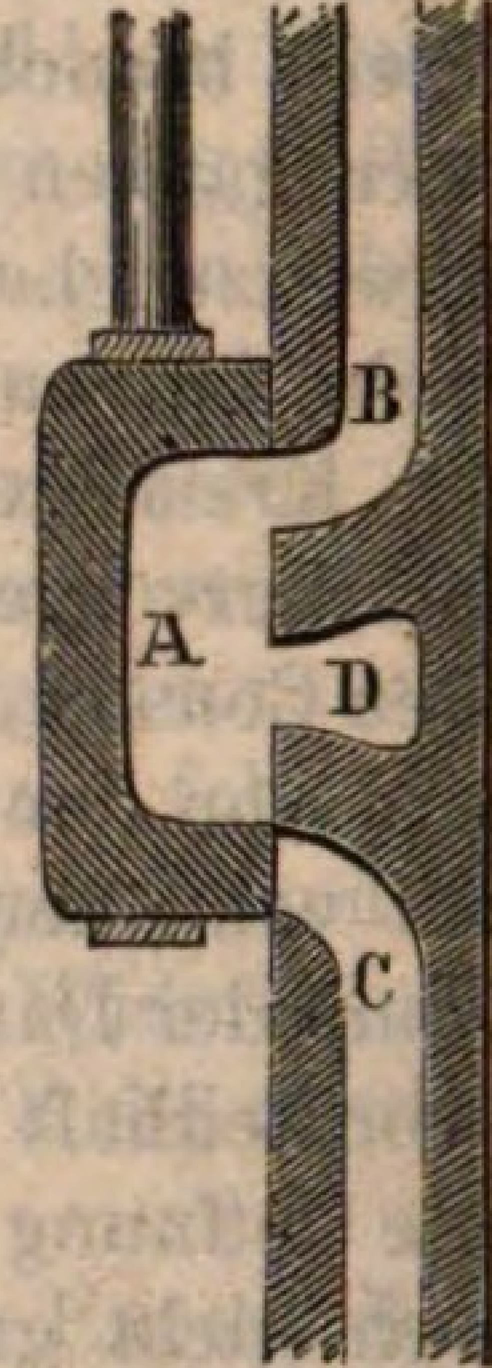


Fig. 568.

gefähr die Form einer Schublade hat, und welches sich mit den Rändern seiner Höhlung gegen die ebene Fläche stützt, in welcher die drei Dampfkanäle B, C, D endigen; an dieser Fläche kann es gleiten und auf diese Weise die verschiedenen in den Figuren angezeigten Stellungen annehmen. Dieser Schieber bewegt sich ebenfalls innerhalb des geschlossenen Raumes, die Dampfkammer genannt, in welchem der Dampf aus dem Kessel zunächst ankommt. Die Kanäle B und C führen, der eine nach dem oberen, der andere nach dem unteren Theil des Cylinders. Der mittlere Kanal D mündet in den Condensator, oder, wenn keine Condensation stattfindet (§. 434 und §. 449), in die freie Luft.

Bei der ersten Stellung des Schiebers (Fig. 565) kann der Dampf, welcher aus dem Kessel kommt, frei in den Kanal B übergehen und wirkt mit vollem Druck auf die obere Fläche des Kolbens. Während dieser Zeit steht der untere Theil des Cylinders durch den Kanal C und das Innere des Schiebers A hindurch mit dem Condensator oder der freien Luft in Verbindung. Der Kolben geht in Folge der Differenz der Drückungen, welche er auf seine beiden Flächen erfährt, abwärts. Wenn der Schieber in die Höhe geht, um die durch die Fig. 566 angezeigte Stellung einzunehmen, bevor der Treibkolben seinen ganzen Weg abwärts zurückgelegt hat, so kann der Dampf aus der Dampfkammer nicht mehr in den Kanal B eintreten, während der untere Theil des Cylinders noch immer mit dem Condensator oder der freien Luft in Verbindung steht. Der Dampf, welcher sich oben in dem Cylinder befindet, wirkt also

indem er sich ausdehnt, und unter dieser Wirkung vollendet der Kolben seinen Niedergang.

Wenn hierauf der Schieber weiter emporsteigt, um die in Fig. 567 angegebene Stellung in dem Moment anzunehmen, wo der Kolben das unterste Ende seines Weges erreicht hat, so geht der Dampf aus dem Kessel durch den Kanal C und übt seinen Druck auf die untere Fläche des Kolbens aus; während dieser Zeit strömt derjenige, welcher vorher über den Kolben getreten ist, durch den Kanal B und das Innere des Schiebers in den Condensator ab. Wenn sich endlich der Schieber wieder um eine gewisse Grösse senkt, um die in Fig. 568 dargestellte Lage anzunehmen, bevor der Treibkolben seinen ganzen Weg aufwärts zurückgelegt hat, so wird die Verbindung des Kessels mit dem unteren Theil des Cylinders unterbrochen, ohne dass jedoch der obere Theil des Cylinders aufhört mit dem Condensator zu communiciren. Der Dampf, welcher bis dahin unter den Kolben geleitet worden ist, fährt also fort zu wirken, indem er sich ausdehnt, und schiebt jenen so bis an das obere Ende des Cylinders. Der Schieber kehrt alsdann in die Stellung Fig. 565 zurück, der Kolben beginnt auf's Neue abwärts zu steigen u. s. f.

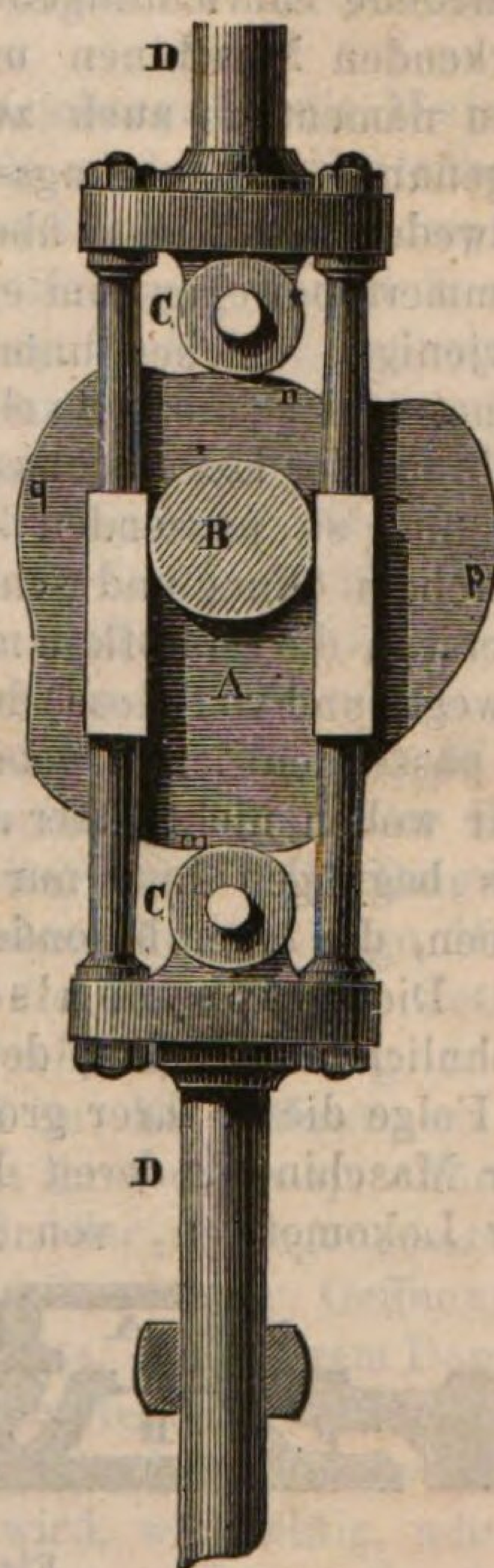


Fig. 569.

Um dem Schieber nach und nach die soeben besprochenen vier Stellungen zu geben, bedient man sich einer Excentrik von besonderer Form, welche man Expansions-Excentrik nennt. Sie besteht im Wesentlichen aus einem Stück A (Fig. 569), das an einer Welle B befestigt ist, welcher die Maschine eine Rotationsbewegung ertheilt. Der Umfang dieses Stückes A wird von vier Kreisbögen m, n, p, q gebildet, die mit der Welle concentrisch sind und durch Theile von anderer Krümmung mit einander verbunden werden. Zwei Frictionsrollen C,C, welche von einer Stange D getragen werden, die nur im Sinne ihrer Länge gleiten kann, sind fortwährend in Berührung mit den entgegengesetzten

Rändern der Excentrik A. Wenn sich die Welle so dreht, dass die Excentrik die obere Frictionsrolle nach und nach mit den Bögen n, q, m, p berührt, so nimmt die Stange D vier verschiedene Stellungen ein, in deren jeder sie so lange verharrt, als die Frictionsrollen mit ein und demselben Kreisbogen in Berührung bleiben. Nun ist es leicht zu sehen, dass diese vier Stellungen genau denen entsprechen, welche wir oben für den Schieber angegeben haben; es reicht also hin den Schieber mittelst der Stange D zu führen, damit der Dampf mit Expansion wirkt. Der Theil des Kolbenlaufes, während welchem der Dampf mit vollem Druck wirkt, hängt offenbar von der Grösse ab, welche man den Bögen m und n gibt, die dazu bestimmt sind, den Schieber in seinen beiden äussersten Stellungen festzuhalten.

§. 446. **Verschiedene Expansionsarten.** Man hat verschiedene Einrichtungen erdacht, um den Dampf in den doppelt wirkenden Maschinen mit Expansion wirken zu lassen. So hat man namentlich auch zwei Schieber zugleich angewandt, einen sogenannten Steuerungs- und einen Expansionsschieber, die sich entweder unmittelbar übereinander oder in zwei getrennten Dampfkammern bewegen; im ersten Fall ist der Steuerungsschieber, d. h. derjenige, welcher unmittelbar die Dampfwege in den Cylinder öffnet und schliesst, selbst von zwei Dampfwegen durchdrungen, während der Expansionsschieber, gewöhnlich blos eine Platte, voll ist und zu passenden Zeiten diese Dampfwege des Steuerungsschiebers öffnet und schliesst; im zweiten Fall gelangt der Dampf zuerst in die Dampfkammer, in welcher sich der Expansionsschieber bewegt, und von dieser durch eine Oeffnung, die von jenem Schieber in passenden Zeiten geöffnet und geschlossen wird, in die andere. Wir wollen nicht näher auf diese Einrichtungen eingehen, sondern uns begnügen hier nur noch zwei Expansionsarten näher anzugeben, die einer besondern Beachtung verdienen.

Die Clapeyron'sche Expansion besteht aus einem gewöhnlichen Schieber, der durch eine Kreis-Excentrik bewegt wird. In Folge dieser ihrer grossen Einfachheit eignet sie sich besonders für Maschinen, deren Bewegungen sehr schnell sind, wie z. B. für Lokomotiven, von denen wir bald mehr reden werden. Der Schieber A (Fig. 570) bewegt sich wie gewöhnlich an einer ebenen

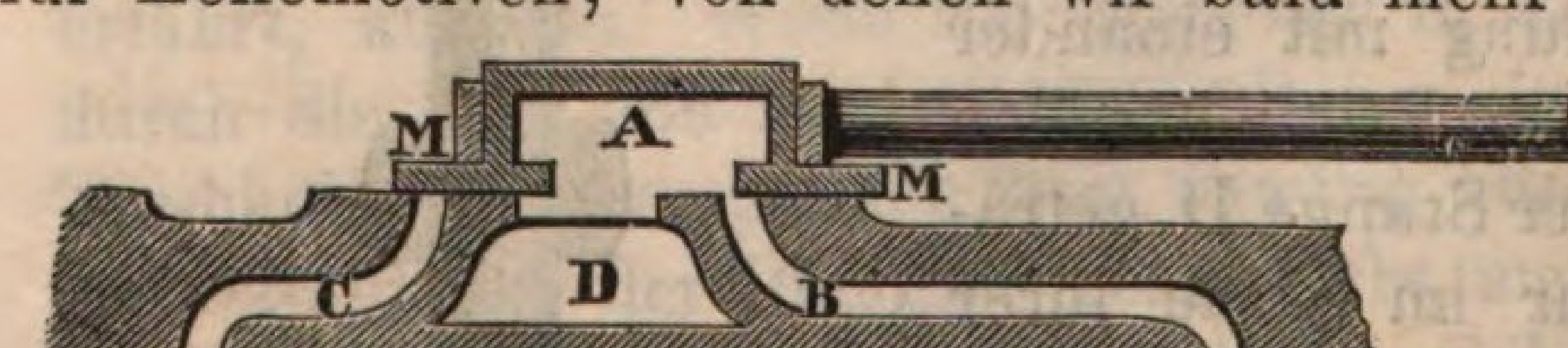


Fig. 570.

Fläche, in welcher sich die beiden Dampfwege B,C, die zu den Enden des Cylinders führen, sowie auch der Kanal D, durch welchen der Dampf in den Condensator oder in die freie Luft abströmt, endigen. Aber die Ränder des Schiebers sind mit zwei Stücken MM versehen, deren Breite viel grösser als diejenige der Oeffnungen B,C ist. Aus dieser einzigen Aenderung an dem Schieber folgt, dass wenn eine der Oeffnungen B,C aufhört, in Verbindung mit der Dampfkammer zu sein, sie während einiger Zeit geschlossen bleibt, bevor die Communication mit dem Kanal D durch das Innere des Schiebers hergestellt wird. Wenn man das Excentrik so einrichtet, dass jede dieser Oeffnungen B,C durch die verbreiterten Ränder M,M des Schiebers hinreichend lange Zeit geschlossen bleibt, so begreift man leicht, dass man es dahin bringen kann, dass der Dampf anfangs, während eines Theils des Kolbenweges, mit vollem Druck wirkt und hierauf, während des übrigen Theils dieses Weges, mit Expansion.

Ganz verschieden von den bisher beschriebenen ist die Meier'sche Expansion (Fig. 571 und 572). Es wird hier die Oeffnung a, durch welche der bei A aus dem Kessel kommende Dampf in die Dampfkammer tritt, durch ein kegelförmiges Ventil K verschlossen, zu welchem Zwecke diese Oeffnung konisch ausgenommen ist. Die Vertheilung des in die Dampfkammer gelangten Dampfes erfolgt durch den Steuerungsschieber S ganz so wie in den schon oben beschriebenen Steuerungssystemen. So lange die Oeffnung *a* offen ist, wirkt der Dampf mit vollem Druck, wenn sie aber durch das Ventil K verschlossen wird, so kann der Dampf nur noch mit Expansion wirken. Das regelmässige Auf- und Zuschliessen der Oeffnung *a* durch das Ventil K wird aber auf folgende Weise hervorgebracht. Der Stiel BH des Ventils K läuft in einen Ring HM aus und stemmt sich gegen eine Spiralfeder F. Der Ring HM umfasst eine mit zwei Längenrippen versehene kegelförmige Hülse R, die mittelst einer Spindel CG durch die Maschine in stetiger Umdrehung erhalten wird. Die Feder F schiebt den Ring in der Richtung MH und dadurch das Ventil K in die Oeffnung *a*; die konische Hülse R hingegen bewegt mittelst ihrer etwas spiralförmig zulaufenden Rippen *r* und *r'* den Ring in der entgegengesetzten Richtung HM und zieht hiebei das Ventil aus der Oeffnung *a* zurück. Im letzteren Fall findet Dampfzufluss, in ersterem Dampfabsperrung und daher Expansion des Dampfes statt. Macht die Spindel CG und also auch die Hülse R mit der Kurbelwelle in einerlei Zeit gleichviel Umdrehungen, so wird, wie richtig, mittelst der Rippen *r* und *r'* bei jedem Spiele zweimal, und also für jeden

Auf- und Niedergang des Kolbens einmal frischer Dampf zugelassen. Wenn man die Hülse R höher hebt, so bringt man eine

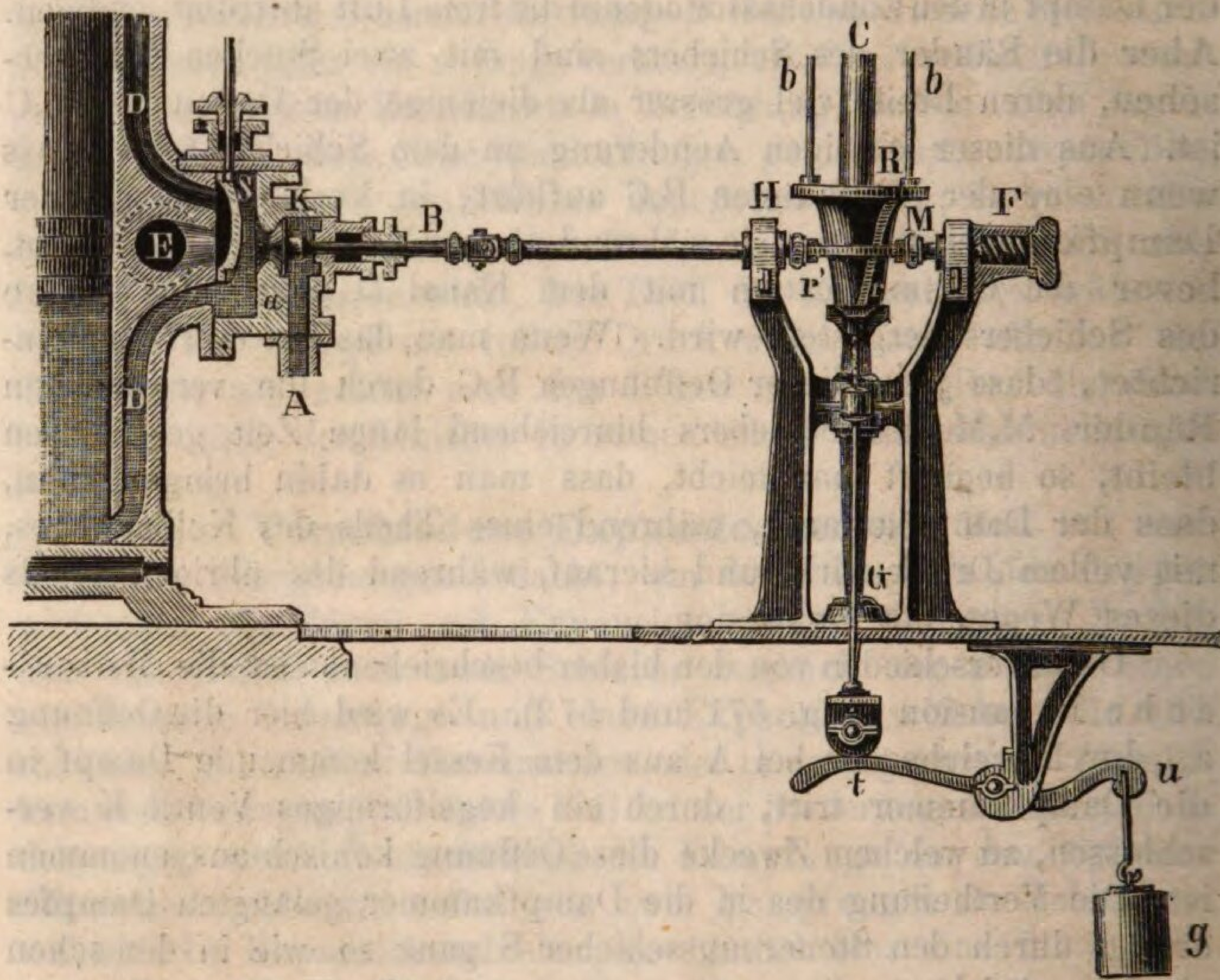


Fig. 571.

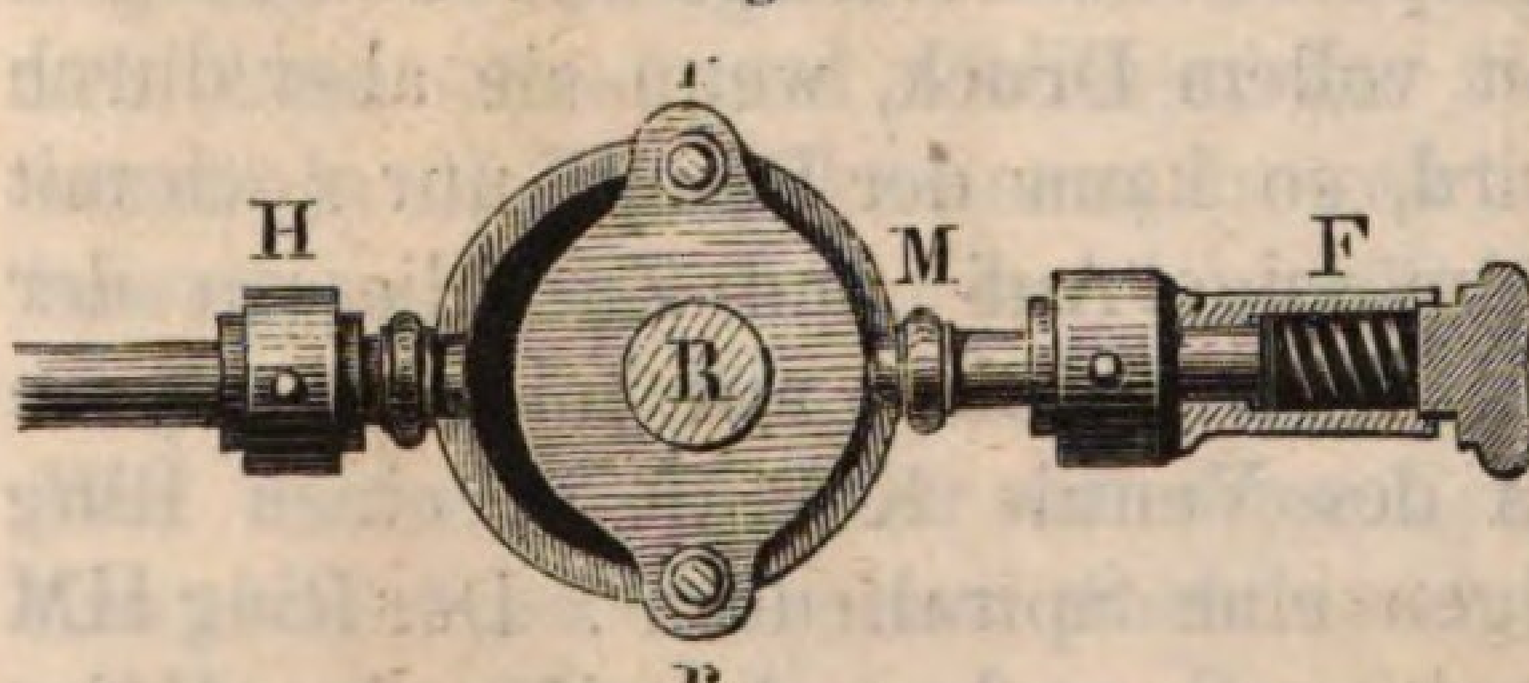


Fig. 572.

schwächere Stelle der Rippen *r* und *r'* in die Ebene des Rings, und es wird dadurch die Zeit der Eröffnung von *a* eine kleinere; wenn man umgekehrt die Hülse R tiefer stellt, so kommen die stärkeren Stellen von *r* und *r'* in die Ringebene, und es wird dann bei Umdrehung von R die Oeffnung *a* längere Zeit offen gehalten, wodurch ein grösserer Dampfzufluss stattfinden kann. Um aber dieses Heben oder Niederlassen der Hülse, dem Bedürfniss an Dampf entsprechend, durch die Maschine selbst hervorbringen lassen zu können, bringt man an der vertikalen Welle CG weiter oben einen Centrifugalregulator an, dessen bewegliche Hülse mittelst der Stäbe *b,b* mit der konischen Hülse R in Verbindung steht. Wenn der Gang der Maschine zu schnell wird, so gehen die Kugeln des Centrifugalregulators weiter auseinander und heben dessen Hülse; mit dieser zugleich hebt sich die konische Hülse R und veranlasst dadurch nach Obigem eine

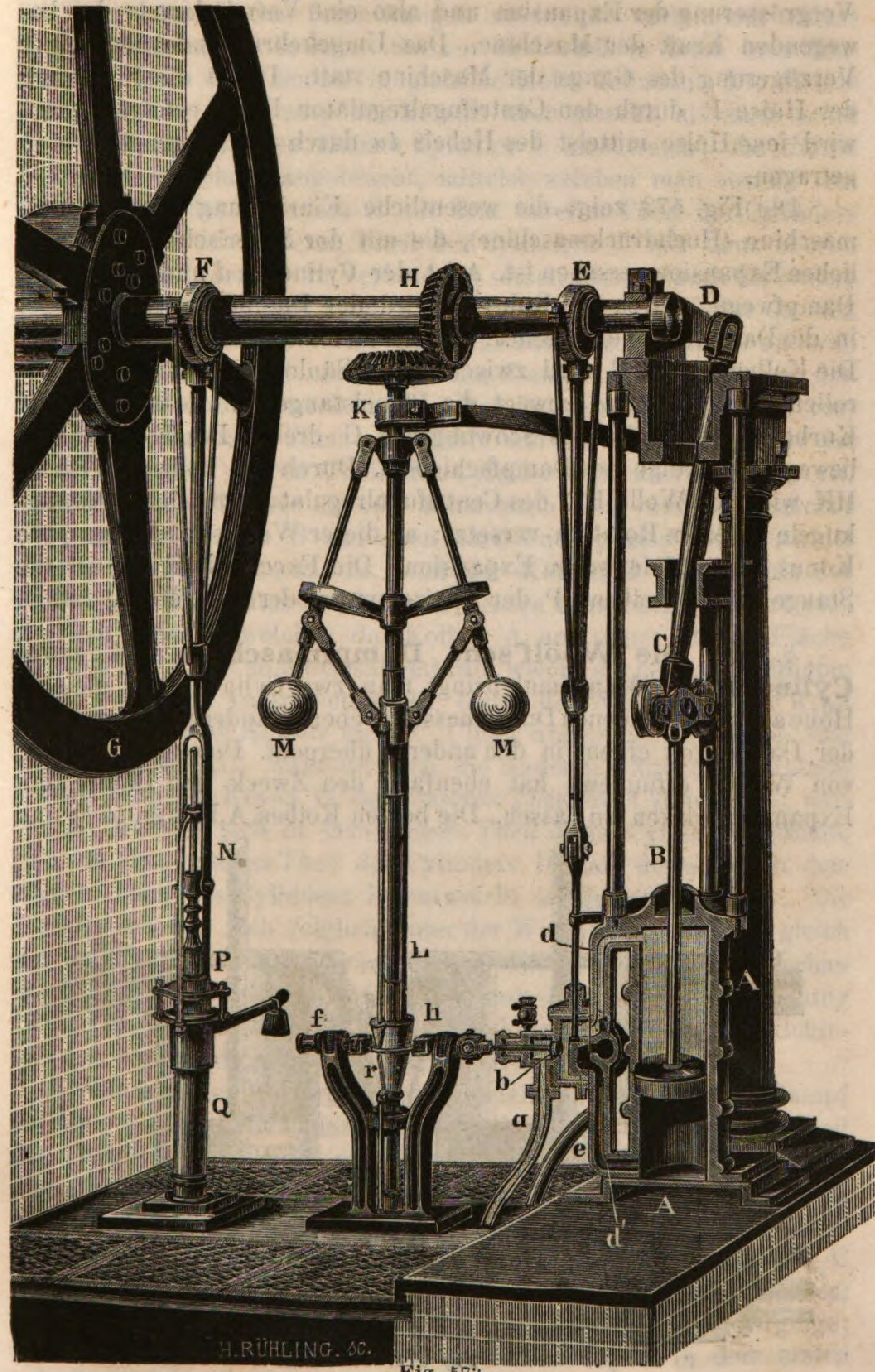


Fig. 573.

Vergrösserung der Expansion und also eine Verminderung der bewegenden Kraft der Maschine. Das Umgekehrte findet bei einer Verzögerung des Gangs der Maschine statt. Damit die Bewegung der Hülse R durch den Centrifugalregulator leicht erfolgen kann, wird jene Hülse mittelst des Hebels *tu* durch das Gegengewicht *g* getragen.

Die Fig. 573 zeigt die wesentliche Einrichtung einer Dampfmaschine (Hochdruckmaschine), die mit der Meier'schen veränderlichen Expansion versehen ist. A ist der Cylinder, *d* und *d'* sind die Dampfwege; durch die Röhre *a* wird der Dampf aus dem Kessel in die Dampfkammer geleitet; *e* führt den ausgedienten Dampf ab. Die Kolbenstange B wird zwischen den Säulen *c* an den Frictionsrollen O geführt und bewegt die Bleuelstange C, die mittelst der Kurbel D die Welle des Schwungrads G dreht. Die Excentrik E bewegt die Stange des Dampfschiebers. Durch die konischen Räder HK wird die Welle KL des Centrifugalregulators mit den Schwungkugeln M,M in Rotation versetzt; an dieser Welle sitzt der gerippte Konus *h* der Meier'schen Expansion. Die Excentrik F bewegt die Stange N des Kolbens P der Speisepumpe, deren Stiefel Q ist.

§. 447. **Die Woolf'sche Dampfmaschine mit zwei Cylindern.** — Manchmal bringt man zwei Cylinder von gleicher Höhe aber verschiedenen Durchmessern nebeneinander an, bei welchen der Dampf von einem in den anderen übergeht. Diese Einrichtung, von Woolf erfunden, hat ebenfalls den Zweck den Dampf mit Expansion wirken zu lassen. Die beiden Kolben A,B (Fig. 574) sind

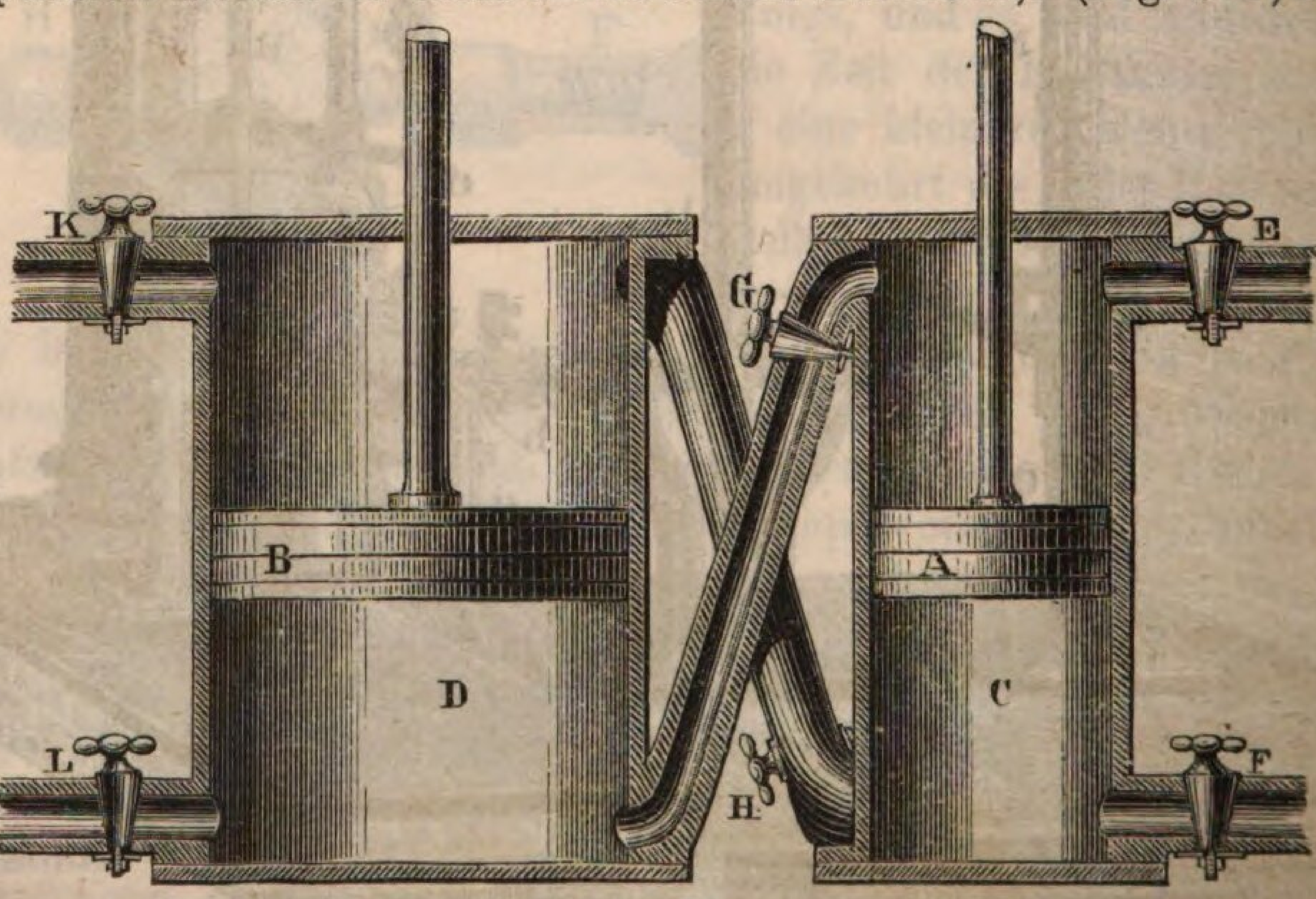


Fig. 574.

an den oberen Enden ihrer Stangen miteinander verbunden, sodass sie sich zusammen bewegen müssen und sich in ihren betreffenden Cylindern C,D immer in gleicher Höhe befinden. Die Hähne E,F gestatten dem Dampf des Kessels über sowohl, als auch unter den Kolben A in den kleinen Cylinder C einzutreten; die Hähne G,H sind in Röhren angebracht, mittelst welchen man sowohl den oberen Theil des Cylinders C mit dem unteren Theil des Cylinders D, als auch den unteren Theil des Cylinders C mit dem oberen Theil des Cylinders D in Verbindung setzen kann; durch die Hähne K,L endlich kann der Dampf aus dem zweiten Cylinder in den Condensator strömen. Wenn die Hähne E,H,L geöffnet, die anderen aber geschlossen sind, so drückt der Dampf aus dem Kessel den Kolben A von oben nach unten. Der Dampf, welcher schon vorher unter diesem Kolben eingeführt worden war und theilweise bereits in den oberen Theil des Cylinders D übergegangen ist, drückt auf den Kolben A von unten nach oben und zu gleicher Zeit auf den Kolben B von oben nach unten; aber dieser zweite Druck überwiegt den ersten, weil der Kolben B grösser als der andere ist: der Unterschied dieser beiden Drückungen addirt sich zu dem Drucke, welchen der Kolben A auf seiner oberen Fläche erfährt, und bildet so die Gesammtkraft, welche die beiden vereinigten Kolben abwärts zu treiben sucht. Unter der Wirkung dieser Kraft gehen die beiden Kolben nieder. Unten angelangt, schliessen sich die Hähne E,H,L, während sich die anderen öffnen; der Dampf strömt aus dem Kessel in den unteren Theil des Cylinders C; derjenige, welcher sich in dem oberen Theil dieses Cylinders befindet, geht in den unteren Theil des Cylinders D und derjenige in dem oberen Theil des Cylinders D entweicht in den Condensator. Die Kolben erheben sich folglich unter der Wirkung einer Kraft, gleich derjenigen, welche sie abwärts gehen machte u. s. f. Die verschiedenen Hähne wurden hier übrigens nur der leichteren Erklärung halber angenommen; in Wahrheit wendet man zur Steuerung Schieber an, welche dieselben Zwecke zu erfüllen haben.

Während des Niedergangs der beiden Kolben nimmt der Dampf in dem unteren Theil des Cylinders C und in dem oberen Theil des Cylinders D allmälig einen immer grösseren Raum ein, er wirkt also durch Expansion; das Gleiche findet beim Aufgang der beiden Kolben statt. Die Gesammtkraft, welche die beiden Kolben auf- oder abwärts steigen macht, ist grösser, als wenn der Cylinder C allein vorhanden wäre und der Dampf, nachdem er in diesem Cylinder gewirkt hat, unmittelbar in den Condensator überginge; und doch ist die Menge des verbrauchten Dampfes in dem ersten

Fall nicht grösser, als sie in dem zweiten sein würde. Man sieht also, dass die Anwendung eines zweiten Cylinders von bedeutendem Vortheil begleitet ist. Dieselbe Menge Dampf erzeugt eine grössere Menge Arbeit. Diess kommt davon her, dass sich der Dampf, indem er von dem Cylinder C in den D übergeht, ausdehnt und erst dann in den Condensator abströmt, nachdem man die aus seiner Ausdehnung entspringende Arbeit nutzbar gemacht hat.

§. 448. **Veränderliche Expansion.** — Wir haben oben das von Watt angewandte Mittel angegeben, die Wirkung des Dampfes in dem Cylinder zu ändern, je nachdem sich die Bewegung der Maschine beschleunigt oder verzögert, sodass auf diese Weise die Geschwindigkeit ihres Ganges in gewissen Grenzen erhalten bleibt. Dieses Mittel, welches aus einem Drosselventil besteht, das dazu bestimmt ist den Durchgang des Dampfes mehr oder weniger zu verengen (§. 442), hat den Nachtheil, dass es durch die Art und Weise selbst, in welcher es wirkt, einen Verlust an Arbeit nach sich zieht (§. 338); desshalb hat man gesucht, es durch ein anderes vortheilhafteres zu ersetzen. Man gelangt zu einem solchen, indem man den Apparat, der zur Vertheilung des Dampfes dient, so einrichtet, dass die Expansion nach Belieben in immer grösserem oder geringerem Grad hervorgebracht wird, d. h. dass der Dampf während eines kleineren oder grösseren Theils des Kolbenschubes mit vollem Drucke wirkt und sich hierauf ausdehnt. Man sieht in der That, dass wenn man bei jedem Kolbenschub die Verbindung des Kessels mit dem Cylinder kürzere Zeit hindurch bestehen lässt, so wird weniger Dampf verbraucht, und die Arbeit, welche durch die Wirkung des Dampfes auf den Kolben entwickelt wird, vermindert sich; wenn man im Gegentheil den Dampf während eines grösseren Theils des Kolbenschubes mit vollem Druck wirken lässt, so wird mehr Dampf verbraucht, und die von der Maschine geleistete Arbeit wird grösser. Man begreift also, dass man, indem man die Expansion ändert, die durch die Wirkung des Dampfes im Cylinder entwickelte Bewegungsarbeit fortwährend mit der Grösse der Widerstandsarbeit, welche an der Maschine angebracht ist, in's Verhältniss setzen und auf diese Weise ihre Geschwindigkeit in passenden Grenzen erhalten kann.

Ein Mittel, die Expansion in dieser Weise zu verändern, haben wir bereits bei der Meier'schen Expansion (§. 446) kennen gelernt. Da, wo die Expansion durch Schieber hervorgebracht wird, ist die Einrichtung eine andere; wenn man blos einen Schieber anwendet (§. 445), so kann die Aenderung der Expansion dadurch bewirkt werden, dass man zwei Excentrikscheiben wie die A in Fig. 569

übereinander legt und durch gegenseitige Drehung in passende Lage bringt; bei zwei Schiebern, einem Steuerungs- und Expansionsschieber, kann derselbe Zweck erreicht werden, wenn man den Weg des letzteren veränderlich macht, um ihm die passende Grösse geben zu können. Näher können wir hier auf die Beschreibung der Stücke, durch welche die Expansion verändert wird, nicht eingehen; nur Das wollen wir noch hinzufügen, dass diese Aenderung der Expansion bald dem Belieben des Maschinenwärters überlassen ist, bald, wie bei der Meier'schen Expansion, durch die Maschine selbst mit Hülfe eines Centrifugalregulators besorgt wird.

§. 449. **Beseitigung des Condensators.** — Die Anwendung eines Condensators ist nur dann unerlässlich, wenn man dem Dampf im Kessel eine nicht viel grössere Spannkraft als eine Atmosphäre gibt. Aber Dem ist nicht mehr so, wenn der Dampf einen Druck besitzt, der bedeutend grösser ist als derjenige der äusseren atmosphärischen Luft. In diesem Falle reicht es in der That hin, abwechselnd jedes der beiden Enden des Cylinders in Verbindung mit der Atmosphäre zu setzen, während das andere Ende mit dem Kessel communicirt, um den Kolben durch den Unterschied der Drückungen, welche er auf seinen beiden Flächen erleidet, in Bewegung zu setzen. Desshalb ist die Anwendung des Condensators bei den Hochdruckmaschinen rein willkürlich. Man lässt ihn weg oder behält ihn bei, je nach den Umständen, welche gegeben sind. Wenn man eine grosse Menge Wasser, die zur Condensation des Dampfes dienen kann, leicht zur Verfügung hat, so condensirt man den Dampf, weil daraus in Bezug auf die Arbeit, die eine gewisse Quantität desselben erzeugt, immer ein Vortheil entspringt; der luftverdünnte Raum, welcher sich in dem Theil des Cylinders, gegen welchen sich der Kolben bewegt, bildet, hat eine Vermehrung der Bewegungsarbeit zur Folge, die durch die Widerstandsarbeit, welche die Luft- und Kaltwasserpumpe veranlassen, nicht vollständig compensirt wird. Wenn man sich im Gegentheil das zur Condensation nothwendige Wasser nur schwer verschaffen kann, oder wenn der Zweck, welchen die Maschine zu erfüllen hat, erfordert, dass dieselbe nur wenig Raum einnimmt, so lässt man den Condensator weg und mit ihm natürlich die Luft- und Kaltwasserpumpe. Man lässt dann den ausgedienten Dampf entweder unmittelbar in die freie Luft, oder benützt ihn wohl auch, indem man ihn durch geeignete Röhren leitet, zur Heizung der Fabriklokalitäten, zum Erhitzen und Kochen von Wasser, Farben etc.

§. 450. **Vortheile der Hochdruckmaschinen.** — Suchen wir uns nun Rechenschaft darüber zu geben, welche Vortheile die

Anwendung des Dampfes mit hoher Spannung darbieten kann, und setzen wir zu diesem Zwecke zunächst voraus, dass derselbe ohne Expansion wirke. Wenn man dem Dampfe eine Spannkraft von 4 Atmosphären z. B. gibt, so ist nach der Tabelle auf Seite 778 seine Temperatur 144°; sie würde nur 100° sein, wenn seine Spannkraft blos 1 Atmosphäre betrüge. Angenommen, dass man hier noch das Mariotte'sche und Gay-Lussac'sche Gesetz (§§. 266 und 267) anwenden kann, so sieht man, dass ein Volumen 1 gesättigten Wasserdampfes von der Temperatur 144° ein Volum 4 einnehmen wird, wenn man es, ohne seine Temperatur zu ändern, ausdehnt, bis seine Spannkraft gleich 1 Atmosphäre wird; und dass sich dieses Volumen auf 3,48 reducirt, wenn seine Temperatur auf 100° herabsinkt, ohne dass die Spannkraft aufhört, gleich 1 Atmosphäre zu sein. Wenn also zwei gleichgrosse Mengen von Wasser in gesättigten Dampf verwandelt werden, die eine unter einem Drucke von 4 Atmosphären, die andere unter einem Drucke von 1 Atmosphäre, so nehmen sie Volumina ein, welche sich verhalten wie die Zahlen 1 und 3,58. Die Cylinder der beiden Maschinen, welche, während sie in Thätigkeit sind, bei jedem Kolbenschub gleiche Mengen von Dampf, die eine von 4 Atmosphären, die andere von 1 Atmosphäre, verbrauchen sollen, müssen also Rauminhalte haben, die denselben Zahlen 1 und 3,58 proportional sind; wenn daher die Kolben bei beiden Maschinen gleiche Wege durchlaufen, so müssen ihre Flächen in demselben Verhältniss wie diese beiden Zahlen stehen. Aber der Druck, welcher auf jeden Quadratcentimeter der Fläche des ersten Kolbens ausgeübt wird, ist 4mal so gross als derjenige, welchen jeder Quatratcentimeter der Fläche des zweiten Kolbens zu tragen hat; die Gesammtdrückungen also, welche schliesslich der Dampf auf die beiden Kolben ausübt, verhalten sich wie die Zahlen 4 und 3,58. Die Mengen der Arbeit, welche durch dieselbe Masse in Dampf verwandelten Wassers in beiden Maschinen entwickelt wird, verhalten sich also ebenfalls wie diese beiden Zahlen: d. h. es wird durch den Dampf, welcher mit 4 Atmosphären wirkt, etwas mehr Arbeit geleistet als durch den von 1 Atmosphäre. Aber zugleich sieht man aus der Tabelle auf Seite 779, dass, um eine gewisse Wassermasse in gesättigten Dampf von 4 Atmosphären Druck zu verwandeln, etwas mehr Wärme erfordert wird, als wenn der Dampf nur 1 Atmosphäre Spannung erhalten soll. Vom ökonomischen Standpunkte aus wird es also so ziemlich gleichgültig sein, ob man den Dampf mit hohem oder mit niederem Drucke wirken lässt.

Nach Diesem bieten also die Hochdruckmaschinen, in denen der Dampf nicht mit Expansion wirkt, keinen wesentlichen Vortheil als höchstens den, dass der Rückdruck, welchen der ausgediente Dampf, indem er aus dem Cylinder entweicht, um sich entweder in den Condensator oder in die freie Luft zu ergiessen, auf den Kolben ausübt, um so geringer ist, je kleiner die Kolbenfläche gemacht wird; auch ist noch Das in Betracht zu ziehen, dass der Cylinder der Hochdruckmaschinen weniger Platz einnimmt als derjenige einer gleichstarken Niederdruckmaschine.

In dem Falle jedoch, wo man den Dampf mit Expansion arbeiten lässt, wie diess gegenwärtig immer geschieht, haben die Hochdruckmaschinen einen sehr bedeutenden Vortheil vor den Niederdruckmaschinen voraus, der darin besteht, dass bei ersteren ein weit höherer Grad von Expansion angewendet werden kann als bei letzteren.

Bei den meisten Dampfmaschinen, welche jetzt gebaut werden, wird der Dampf mit einer Spannkraft von 4, 5 und selbst 6 Atmosphären angewendet; diese Grenze wird jedoch nur selten überschritten.

§. 451. **Uebertragung der Bewegung des Kolbens auf eine rotirende Welle.** — Bei der Watt'schen Maschine wird die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens mittelst eines Balanciers, einer Bleuelstange und einer Kurbel auf eine rotirende Welle übertragen. Häufig lässt man den Balancier auch weg und vereinigt direkt das Ende der Kolbenstange mit der Bleuelstange (Fig. 575). In diesem Falle muss die Stange A bei ihrer Bewegung

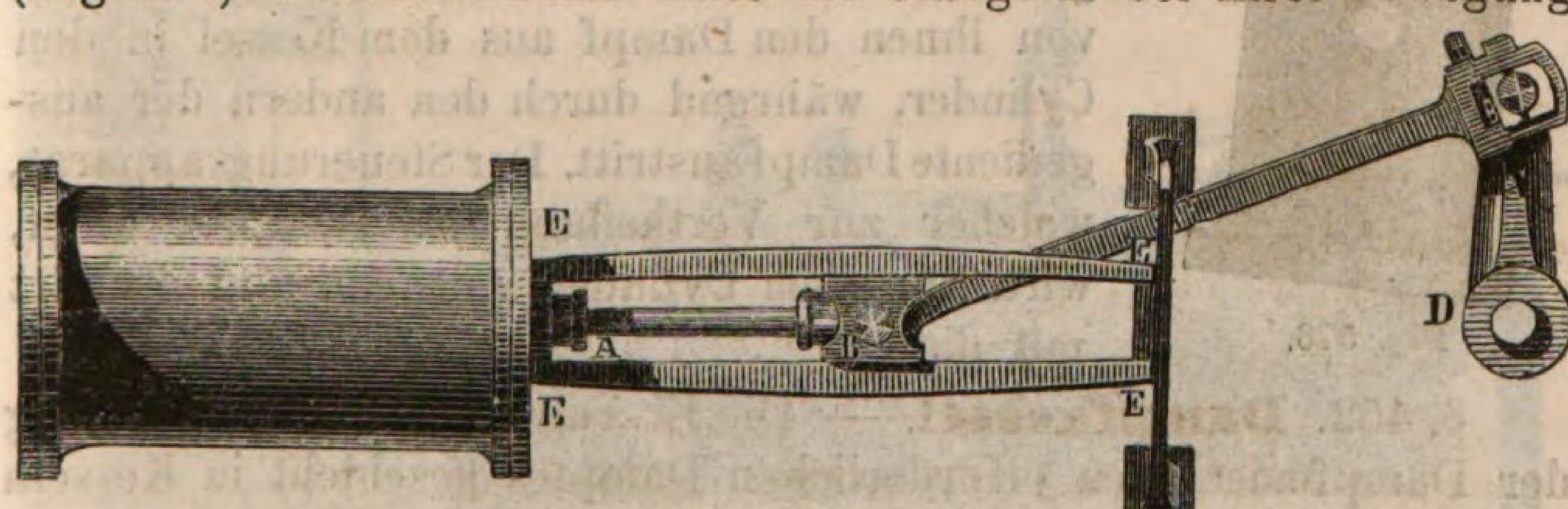


Fig. 575.

geführt werden, damit sie nicht durch den schiefen Widerstand, welchen sie von Seite der Bleuelstange erfährt, und welcher seine Richtung in dem Maasse ändert, als sich die Kurbel um die Welle dreht, hin- und hergebogen wird. Zu diesem Zwecke ist das Ende B der Kolbenstange mit einem besondern Stück, Schlitten genannt, versehen, das gezwungen ist, zwischen den fesstehenden Führungen E, E zu gleiten; manchmal ersetzt man diesen Schlitten auch durch

ein Paar Frictionsrollen, welche an den Führungen, zwischen welchen sie enthalten sind, laufen (s. die Fig. 573, Seite 825).

Cavé hat die Uebertragung der Bewegung des Kolbens auf die rotirende Welle dadurch noch mehr vereinfacht, dass er die Bleuelstange ganz wegliess und die Kolbenstange direkt mit der Kurbel verband. Aber zu diesem Behufe musste er den Cylinder A (Fig. 576) beweglich machen, damit die Kolbenstange in allen Stellungen, welche sie in Folge ihrer Verbindung mit der Kurbel CD annehmen muss, stets nach der Axe des Cylinders gerichtet bleiben kann. Aus diesem Grunde wird der Cylinder A durch zwei Zapfen E getragen, um welche er sich in schwingender Bewegung bald nach der einen, bald nach der anderen Seite drehen kann, und desshalb gibt man den Maschinen dieser Art auch den Namen Maschinen mit oscillirendem Cylinder. Damit die Kolbenstange dem Cylinder stets die passende Lage geben kann, versieht man sie mit zwei Frictionsrollen F, F, welche an zwei Stangen gleiten, die am Deckel des Cylinders festgemacht sind. Da die Zapfen E die einzigen Theile des Cylinders sind, welche, abgesehen von ihrer Drehbewegung, ihre Stellung während der Bewegung der Maschine beibehalten, so hat man sie hohl gemacht und leitet durch das Innere des einen von ihnen den Dampf aus dem Kessel in den Cylinder, während durch den andern der ausgediente Dampf austritt. Der Steuerungsapparat, welcher zur Vertheilung des Dampfes dient, wird von dem Cylinder getragen und oscillirt mit diesem.

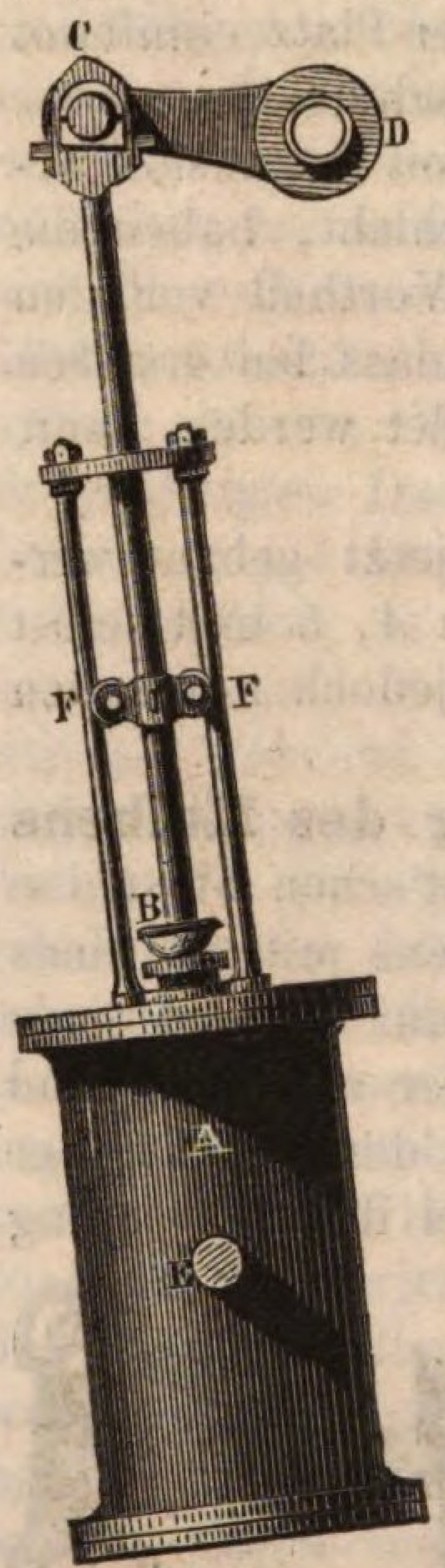


Fig. 576.

§. 452. **Dampfkessel**. — Die Erzeugung des zur Bewegung der Dampfmaschinen erforderlichen Dampfes geschieht in Kesseln von sehr verschiedener Form. Man sieht aus Dem, was wir über die Erfindung der Dampfmaschine gesagt haben (§§. 430 bis 434), dass die ersten Dampfkessel, welche angewendet wurden, kugelförmig waren, oder dass sie wenigstens die Gestalt eines Theils einer Kugel mit ebenem Boden hatten. Diese Form, welche sich zuerst am natürlichsten darbot, hat den grossen Nachtheil, dass sie bei einer bedeutenden Wassermasse nur eine verhältnissmässig geringe Oberfläche darbietet, und dieser Umstand ist für Dampf-

erzeugung offenbar wenig günstig. Desshalb hat Watt seinen Kesseln eine ganz andere Gestalt und Einrichtung gegeben. Er nahm die Form eines lang gestreckten Cylinders an, der als Querschnitt eine theilweis einwärts gebogene Curve besitzt. Die Watt'schen Kessel können auf diese Weise bei gleichgrossem Rauminhalt mit einer viel grösseren Fläche der direkten Einwirkung des Feuers ausgesetzt werden als die zuvor gebrauchten.

Die Cylindergestalt ist diejenige, welche man noch heute bei der Construction der Dampfkessel anwendet. Aber man hat den Querschnitt des Cylinders in Folge der grösseren Spannkraft, welche man dem Dampf jetzt gewöhnlich gibt, abändern müssen. Man begreift in der That leicht, dass, wenn der Kessel einwärts gebogene Theile besitzt und der durch den Dampf in seinem Innern ausgeübte Druck bedeutend grösser als der der äusseren atmosphärischen Luft ist, dieser Drucküberschuss die Gestalt des Kessels zu ändern sucht, indem er die einwärts gebogenen Theile nach aussen drückt; selbst ebene Flächen, wenn solche vorhanden sind, müssen durch die Wirkung dieses Drucküberschusses convex werden. Damit also die Gestalt des Kessels nicht abgeändert werde, und damit derselbe überall gleichgut dem inneren Druck widerstehe,

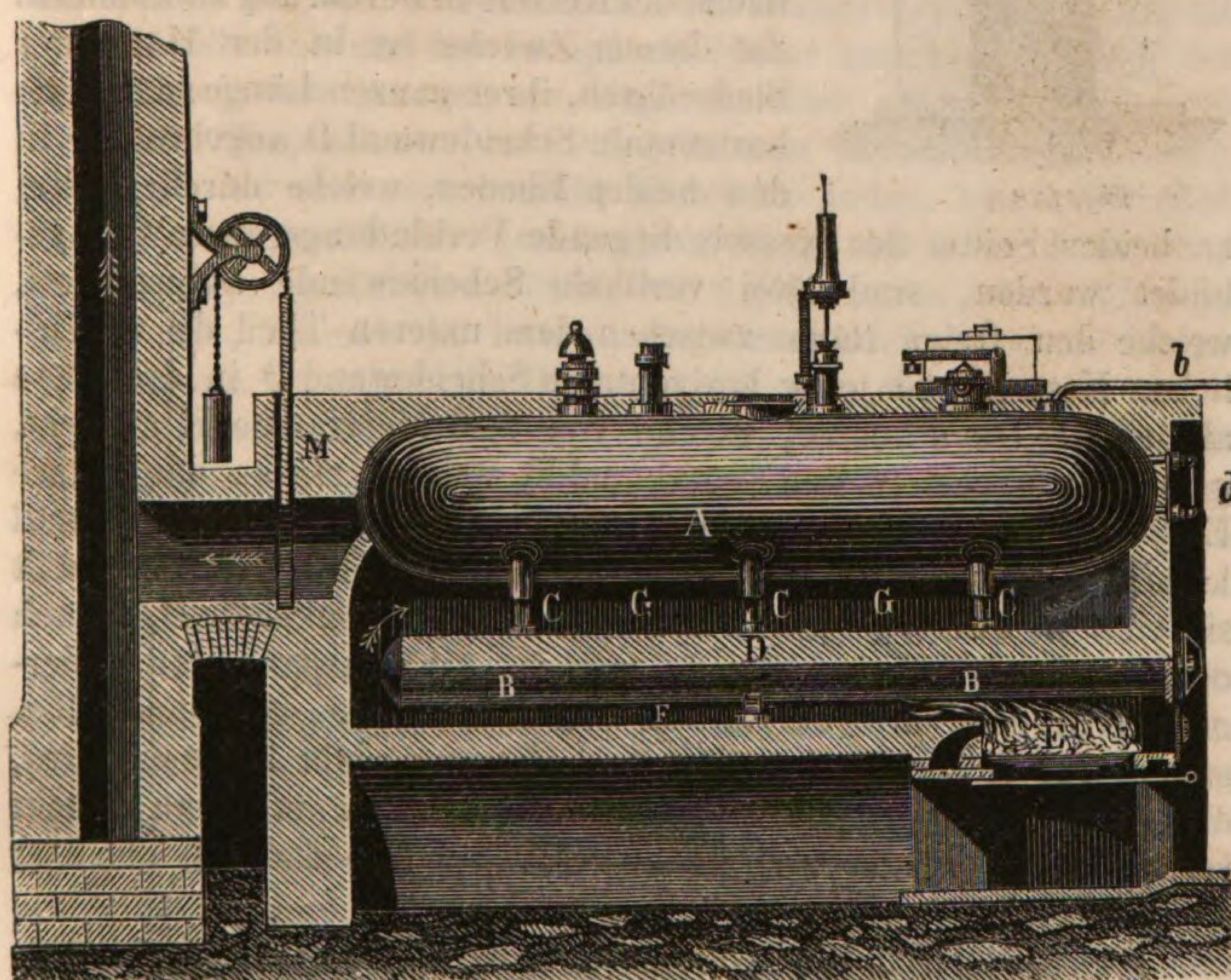


Fig. 577.

gibt man ihm die Gestalt eines Cylinders mit kreisförmigem Querschnitt, der sich an beiden Enden in Kugelabschnitten, häufig sogar in Halbkugeln endigt. Diess ersieht man aus den Fig. 577 und 578, von denen die erste einen Längendurchschnitt des Mauerwerks des eingemauerten Kessels gibt, der dazu bestimmt ist, den Kessel seiner ganzen Länge nach sichtbar zu machen, während die zweite ein Querschnitt des Kessels ist. Unter dem eigentlichen Kessel A sieht man zwei Cylinder B,B, welche beinahe dieselbe Länge als jener haben, deren Durchmesser aber viel kleiner ist. Diese Cylinder, welche man Sie der öhren nennt, communiciren mit dem Kessel A mittelst Röhren C,C und sind dazu bestimmt, die Heizfläche zu vergrössern.

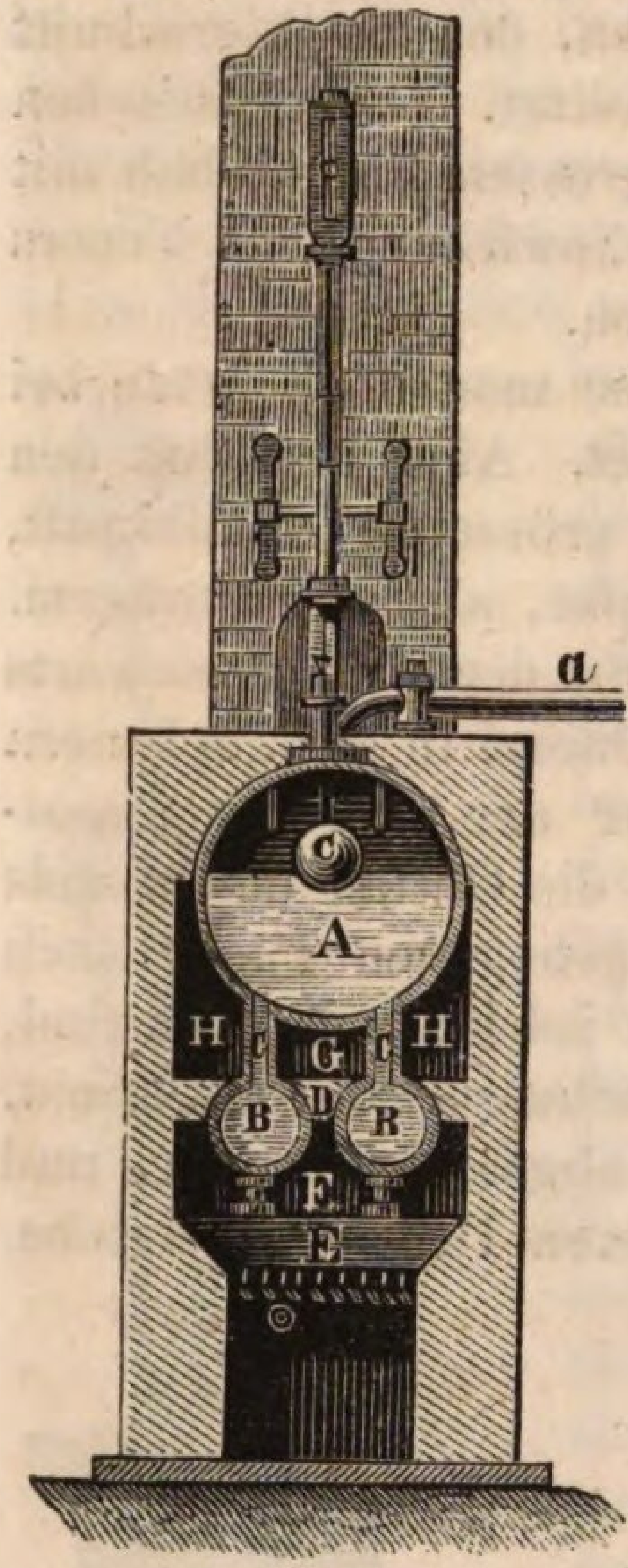


Fig. 578.

Die Feuerungsanlage ist so construirt, dass die Flamme genöthigt wird, allmälig mit den verschiedenen Theilen der Oberfläche des Kessels in Berührung zu kommen. Zu diesem Zwecke ist in der Höhe der Siederöhren, ihrer ganzen Länge nach, eine horizontale Scheidewand D angebracht; in den beiden Ebenen, welche durch je drei zu beiden Seiten des Kessels liegende Verbindungsröhren C,C gebildet werden, sind zwei vertikale Scheidewände aufgemauert, welche den freien Raum zwischen dem unteren Theil des eigentlichen Kessels und jener horizontalen Scheidewand D in drei Züge abtheilen. Die Flamme, welche von dem Heizraume E ausgeht, gelangt zunächst in den Feuerkanal F, welcher sie an das hintere Ende des Kessels führt. Von da aus geht sie in den Kanal G und kommt so wieder an das vordere Ende des Kessels; hier theilt sie sich in zwei Theile und kehrt durch die Seitenkanäle H,H nach dem hintern Theil des Kessels zurück. Am Ausgang der Feuerzüge H,H geht die Feuerluft in den Kamin. Das sogenannte Register M, dessen Gewicht durch ein Gegengewicht balancirt wird, dient dazu, den Kanal, welcher die Feuerzüge mit dem Kamin verbindet, mehr oder weniger zu schliessen und dadurch den Zug zu reguliren.

Die Kessel mit Siederöhren, von Eisenblech construirt, werden sehr häufig angewendet, aber sie sind bei weitem nicht die

einzigen, welche gebraucht werden. So findet man häufig Kessel ohne Siederöhren; oder auch wohl Kessel mit einer cylindrischen Röhre, welche sie ihrer ganzen Länge nach durchdringt, und innerhalb welcher der Heizraum angebracht ist; oder auch noch Kessel, welche der Länge nach von mehreren kleinen parallelen Röhren durchdrungen werden, durch welche die Flamme streicht u. s. w. f. In allen diesen Fällen aber, welches auch das für den Kessel angewandte System sein mag, muss man der Heizfläche desselben, d. h. den direkt vom Feuer bespülten Wänden, eine Ausdehnung geben, die im Verhältniss zur Quantität des Dampfes steht, welcher in einer bestimmten Zeit erzeugt werden muss. Die Erfahrung hat gelehrt, dass diese Oberfläche wenigstens 1 Quadratmeter für jede Pferdekraft der Maschine sein muss, und dass es selbst noch zweckmässiger ist, sie auf 1,3 Quadratmeter zu erhöhen.

Eine Röhre, welche man bei *a* (Fig. 578) sieht, geht von der oberen Wand des Kessels aus und dient dazu, den Dampf zur Maschine zu leiten. Eine zweite Röhre *b* (Fig. 577) dient zur Speisung des Kessels, d. h. zur Einführung des Wassers, welches dazu bestimmt ist, dasjenige wieder zu ersetzen, das in Form von Dampf aus dem Kessel entweicht. Diese letztere Röhre dringt in den Kessel ein und endigt inmitten des Wassers, welches er enthält.

§. 453. Seitdem der Dampf als Motor angewendet wird, hat man eine grosse Anzahl von Unglücksfällen zu beklagen, welche durch die Explosionen von Dampfkesseln herbeigeführt wurden. Desshalb hat man sich bemüht Mittel zu finden, um der Wiederholung ähnlicher Fälle vorzubeugen. Bevor wir aber dazu übergehen, diejenigen dieser Mittel, bei welchen man jetzt stehen geblieben ist, kennen zu lernen, müssen wir zunächst die hauptsächlichsten Ursachen der Kesselexplosionen angeben.

Eine erste Ursache dieser Explosionen, diejenige, welche man anfangs als einzige Quelle derselben betrachtet hat, besteht in der nicht genügenden Festigkeit des Kessels. Wenn man allmälig die Spannung des Dampfes im Innern des Kessels vermehrt, so ist es begreiflich, dass man zuletzt an einem Punkte ankommen muss, wo die Wände des Kessels nicht mehr im Stande sind, der Spannkraft des Dampfes zu widerstehen: sie müssen daher zerreissen, um dem Dampf den Weg ins Freie zu eröffnen. Setzen wir also voraus, dass ein Kessel zu wenig Festigkeit besitze, so dass diese Grenze des Widerstandes, welche nicht überschritten werden darf, einer Spannung entspricht, welche der Dampf während des Gangs der Maschine annehmen kann, so muss daraus nothwendig eine Explosion folgen.

Aber es ist sehr selten, dass der Vorgang so wie eben beschrieben stattfindet. Die meisten Explosionen entspringen daraus, dass gewisse Theile der Kesselwände zufällig auf eine sehr hohe Temperatur gebracht werden und dann plötzlich in Berührung mit einer gewissen Quantität Wasser kommen. Man begreift leicht, dass unter diesen Umständen aus verschiedenen Ursachen eine Explosion entstehen muss. Erstens verdampft das Wasser, welches mit den durch die Wirkung des Feuers glühend gewordenen Theilen der Kesselwand in Berührung kommt, mit grosser Heftigkeit, wodurch eine plötzliche Vermehrung des Druckes im Innern des Kessels hervorgebracht wird. Zweitens führt die fast augenblickliche Abkühlung, welche diese glühenden Wandtheile des Kessels erfahren, eine Aenderung in ihrer molekularen Constitution herbei und erleichtert auf diese Weise ihr Zerreissen unter der Wirkung des inneren Druckes.

So lange der Theil der Wände eines Kessels, welcher aussen in Berührung mit der Flamme ist, innen vom Wasser bespült bleibt, hat man nicht zu befürchten, dass die Wirkung, von der wir eben gesprochen haben, eintritt. Aber dem ist nicht mehr so, wenn das Niveau des Wassers im Kessel unter die höchsten Punkte der Feuerzüge, in welchen die Flamme circulirt, herabsinkt. Man sieht, dass in diesem Fall die Theile der Kesselwände, welche zwischen dem Niveau des Wassers und den obersten Stellen der Feuerzüge gelegen sind, leicht glühend werden können; und wenn dann das Wasser in Folge der heftigen Bewegungen, von welchen das Kochen immer begleitet ist, gegen diese glühenden Wände geworfen wird, so kann daraus die Explosion entstehen.

Das zur Speisung eines Dampfkessels angewandte Wasser enthält gewöhnlich feste Bestandtheile, aufgelöst oder auch blos suspendirt, welche sich in einer allmälig immer dicker werdenden Kruste, dem sogenannten Kesselstein, in dem Kessel ablagern. Da in Folge dessen die unteren Wände des Kessels nicht mehr in direkter Berührung mit dem Wasser sind und der Kesselstein nur ein schlechter Wärmeleiter ist, so können jene Wände eine viel höhere Temperatur annehmen, als wenn diese Ablagerung nicht vorhanden wäre. Wenn hierauf durch irgend eine Ursache Risse in dieser Kruste entstehen, so dringt das Wasser in dieselben ein, verwandelt sich in Berührung mit den heisseren Theilen der Wände in Dampf, und, indem es auf diese Weise den Kesselstein lossprengt, entblösst es in grösserer oder geringerer Ausdehnung die Wandtheile, welche derselbe bedeckt hat. In dieser Weise entstehen sehr häufig Explosionen.

Die Dampfkesselexplosionen sind gewöhnlich von ausserordentlichen mechanischen Wirkungen begleitet: so werden oft sehr schwere Stücke auf grosse Distanzen fortgeschleudert. Man würde sich von diesen Wirkungen kaum Rechenschaft geben können, wenn man sie aus der Wirkung des Dampfes, welcher im Moment der Explosion im Kessel vorhanden ist, allein erklären wollte, selbst wenn man diesem Dampf eine bedeutende Wirkung zuschreiben würde. Aber man muss bedenken, dass die in dem Kessel enthaltene Wassermasse, indem sie plötzlich in Verbindung mit der atmosphärischen Luft gesetzt wird, eine bedeutend höhere Temperatur als 100° hat, wodurch sie mit einem Mal grösstentheils verdampft und so fast augenblicklich eine ausserordentlich grosse Menge Dampf erzeugt. Dieser im Moment der Explosion selbst erst gebildete Dampf ist es, welcher die ausserordentlichen mechanischen Wirkungen, die man beobachtet, hervorbringt.

§. 454. Sehen wir nun, welches die Mittel sind, welche man angewendet hat, um zu verhüten, dass die Umstände, die wir soeben bezeichnet haben, eintreten können.

Damit ein Kessel überhaupt angewendet werden darf, muss er in den meisten Ländern mit einem Stempel versehen sein, welcher die Anzahl der Atmosphären angibt, die der Dampf in seinem Innern nicht überschreiten darf. Diese Stempelung des Kessels geschieht amtlich, nachdem zuvor der Dampfkessel einer Prüfung unterworfen worden ist, welche darin besteht, dass man ihn mit Wasser vollfüllt und auf dieses Wasser mittelst einer Druckpumpe einen gewissen Druck ausübt. Dieser Druck ist in Bayern der doppelte, in Frankreich der dreifache von dem, welchen die Stempelung angibt.

Damit die Spannung des Dampfes im Kessel die Grenze, für welche der Kessel geprüft worden ist, nicht übersteigen kann, bringt man eines oder mehrere Sicherheitsventile an demselben an. Die Fig. 579 zeigt die Einrichtung eines solchen. Das Ventil A befindet sich am

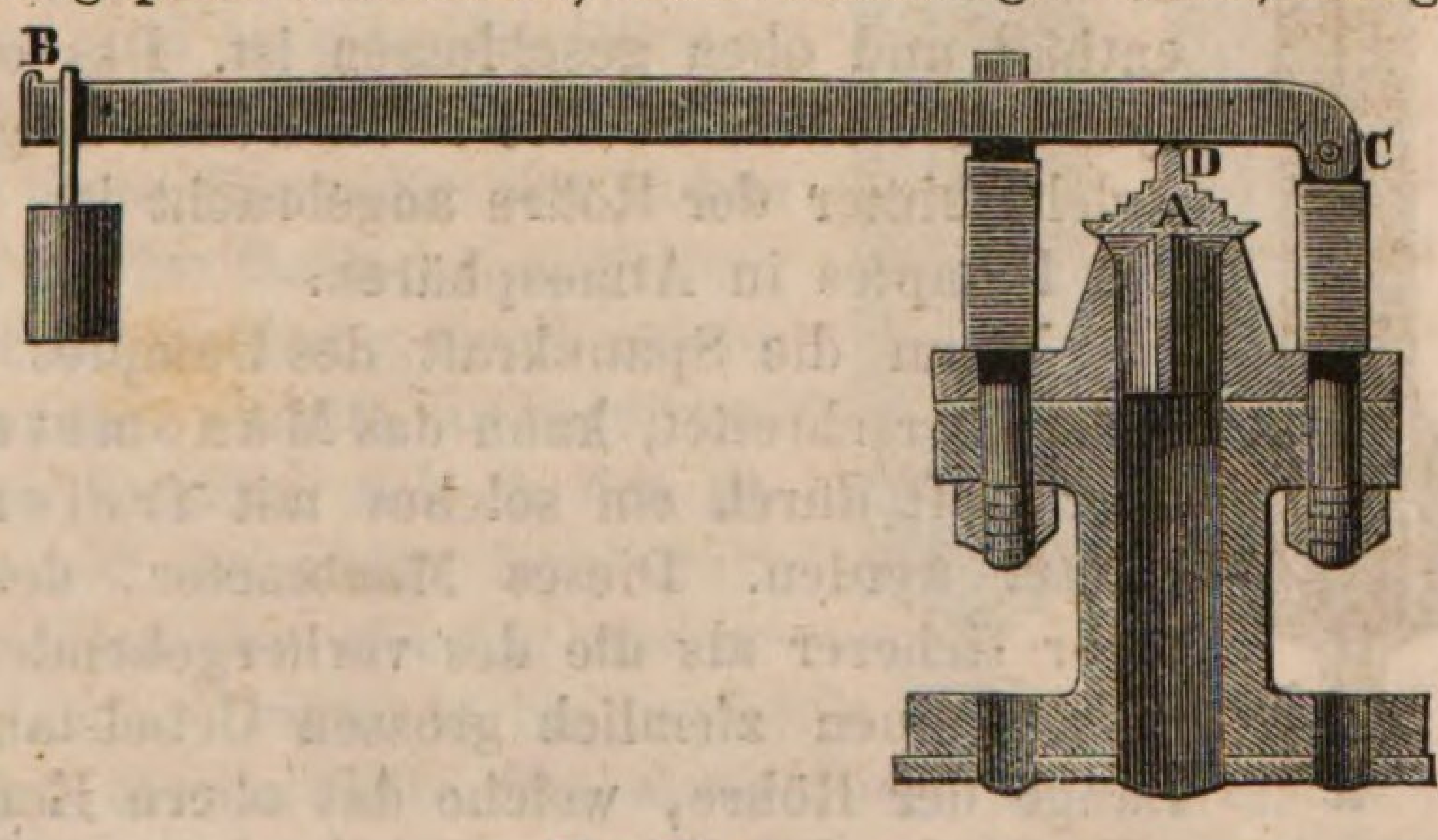


Fig. 579.

Ende einer vertikalen Röhre, welche unten mit dem Kessel in Verbindung steht. Ein Hebel BC, der um den Punkt C beweglich ist, stützt sich in D auf den Kopf des Ventils. Am Ende B dieses Hebels ist ein Gewicht aufgehängt; dasselbe ist von solcher Grösse und so gestellt, dass es auf das Ventil A von oben nach unten einen Druck ausübt, gleich demjenigen, welchen dasselbe von unten nach oben von Seite des Dampfes erfährt, wenn seine Spannkraft den Werth erreicht hat, welchen sie nicht überschreiten darf.



Fig. 580.



Fig. 581.

Die Fig. 580 zeigt das Ventil allein, und die Fig. 581 ist ein horizontaler Durchschnitt desselben, der dazu bestimmt ist, die Einrichtung des Theils sichtbar zu machen, welcher in die Röhre, die verschlossen werden soll, eindringt. Dieser untere Theil des Ventils wird von drei Flügeln gebildet, welche es in seiner Bewegung führen sollen, wenn es durch einen Ueberschuss der inneren Spannung gehoben wird, und welche so eingerichtet sind, dass sie sich dem Austritt des Dampfes so wenig als möglich widersetzen.

§. 455. Es ist von Wichtigkeit, dass der Heizer jeden Augenblick die Spannung des Dampfes im Kessel kennen lernen kann, um sich beim Feuern darnach richten und diese Spannkraft in geeigneten Grenzen erhalten zu können. Zu diesem Zwecke bringt man an dem Kessel ein Manometer an, welches fortwährend mit dem Dampf im Innern desselben in Verbindung steht. Man bedient sich dabei häufig eines Manometers mit verdichteter Luft (Fig. 582), dessen Princip wir schon oben (§. 275) angegeben haben. Der Dampf kommt bei *a* an und übt seinen Druck auf die Oberfläche des Quecksilbers im Gefäss *b* aus; in dieses Gefäss taucht eine Glasröhre *c*, welche Luft enthält und oben geschlossen ist. Das obere Ende der Quecksilbersäule in dieser Glasröhre zeigt an der Scala, welche hinter der Röhre angebracht ist, die Spannkraft des Dampfes in Atmosphären.

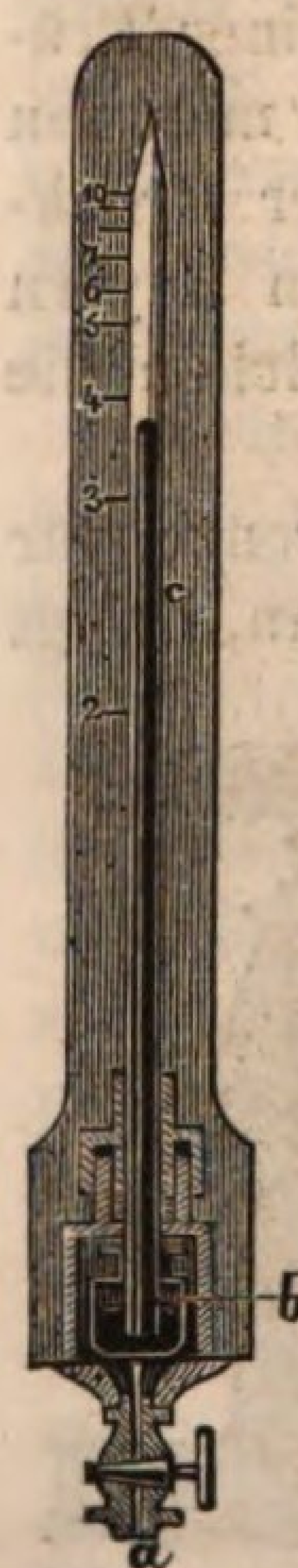


Fig. 592.

Wenn die Spannkraft des Dampfes 4 Atmosphären nicht überschreitet, kann das Manometer mit verdichteter Luft durch ein solches mit freier Luft (§ 274) ersetzt werden. Dieses Manometer, dessen Anzeigen zwar sicherer als die des vorhergehenden sind, hat indessen einen ziemlich grossen Uebelstand: die grosse Länge der Röhre, welche das obere Ende der Quecksilbersäule durchlaufen muss, je nachdem der Druck

2, 3, 4 Atmosphären beträgt, hat zur Folge, dass dieses Ende häufig eine solche Stellung einnimmt, dass man es nicht mehr gut sehen kann. Um diesen Uebelstand zu beseitigen, wendet man manchmal die in Fig. 583 dargestellte Einrichtung an. Der Dampf, welcher bei *a* ankommt, übt seinen Druck auf die Oberfläche des Quecksilbers im Gefäss *b* aus und drückt es in der Röhre *cc*, welche oben offen ist, in die Höhe. Ein Schwimmer *d* stützt sich fortwährend gegen die obere Kuppe des Quecksilbers und ist an einem Faden aufgehängt, welcher über eine Rolle geht und an seinem anderen Ende ein Gegengewicht *e* trägt. Die Bewegungen der Quecksilbersäule werden durch dieses Gegengewicht, das sich stets im entgegengesetzten Sinn längs einer Scala bewegt, und welches sehr leicht zu beobachten ist, angezeigt.

Die Fig. 584 zeigt eine andere Einrichtung des Manometers mit freier Luft, bei welcher sich das obere Ende der Quecksilbersäule in viel geringerer Ausdehnung bewegt. Der Dampf aus dem Kessel kommt bei *a* an und communicirt frei mit dem Innern eines Raumes *b*. Vom unteren Theil dieses Raumes geht eine Metallröhre *cc* aus, welche anfangs abwärts geht und sich hierauf krümmt, um bei *dd* wieder aufwärts zu steigen und in eine Glasröhre *e*, welche viel weiter als sie ist, zu endigen. Oben geht von dieser Glasröhre eine Röhre *ff* aus, welche in das Gefäss *g* eindringt, ohne die Ränder der Oeffnung, durch welche sie in dessen Inneres eintritt, zu berühren. Das Quecksilber befindet sich in der gebogenen Röhre *cd*; es steigt in *c* unter der Wirkung des Dampfes abwärts und erhebt sich zu gleicher Zeit in *d* bis in die Glasröhre *e*, wo es von Seite der atmosphärischen Luft, welche frei durch die Röhre *f* eindringen kann,



Fig. 583.

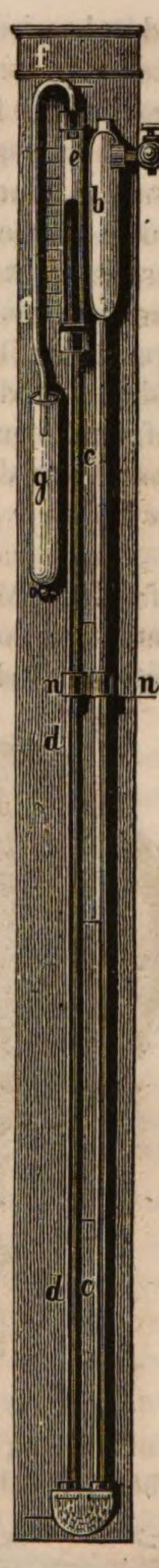


Fig. 584.

gedrückt wird. Der Höhenunterschied des Niveaus der Flüssigkeit in beiden Armen der Röhre *cde* dient als Maass des Ueberschusses des Druckes des Dampfes über den der äusseren atmosphärischen Luft. Nun hat wegen der Verschiedenheit der Durchmesser der Röhren *c* und *e* eine beträchtliche Senkung des Quecksilbers in der ersten Röhre nur eine geringe Hebung desselben in der zweiten zur Folge; daraus geht hervor, dass der Weg, welchen die Oberfläche des Quecksilbers in *e* durchläuft, nur klein ist, wenn sich auch der Druck des Dampfes viel ändert. Das Gefäss *g*, in welches sich die Röhre *f* endigt, ist dazu bestimmt, das Quecksilber in dem Falle aufzunehmen, wo es ein zu starker Druck des Dampfes in dem Kessel aus der gekrümmten Röhre *cde* hinaustreibt. Die Scala neben der Röhre *e* gibt den Druck des Dampfes in Atmosphären an.

Ganz neuerdings wendet man sehr häufig das von Bourdon erfundene Metallmanometer an, welches die Quecksilbermanometer vortheilhaft ersetzt. Das wesentlichste Stück dieses Manometers besteht in einer gekrümmten Röhre B (Fig. 585) von Kupfer, innerhalb welcher der Druck des Dampfes wirkt. Das eine Ende dieser Röhre ist an dem Punkte befestigt, wo die Röhre A, durch welche der Dampf aus dem Kessel kommt, endigt; ausserdem ist die Röhre B an keinem anderen Punkt an der Büchse, welche sie enthält, festgemacht. Ihr Ende C ist geschlossen. Der Querschnitt der Röhre ist nicht kreisförmig, sondern eine sehr lang gestreckte, ellipsenartige Curve, wie sie die Fig. 586 in natürlicher Grösse zeigt. Wenn der Dampf des Kessels mit dem Innern der Röhre B in Verbindung steht, so bläht sie der Druck, welchen er gegen ihre Wände ausübt, ein wenig auf, indem er die Abplattung ihres Querschnitts vermindert; diese leichte

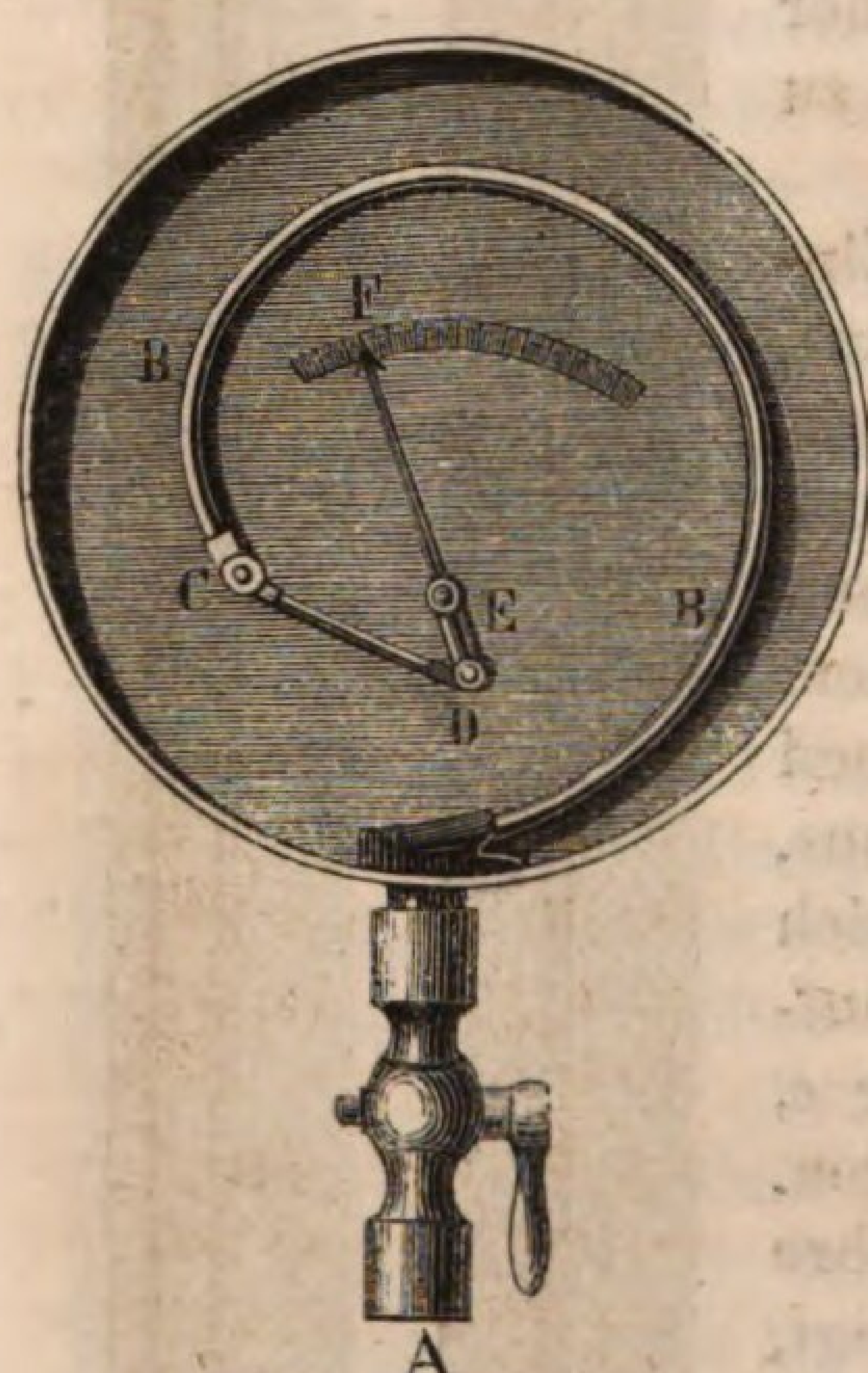


Fig. 585.

Aufblähung hat eine Aenderung in der Krümmung der Röhre zur Folge, welche sich in dem Maasse, als der Druck im Innern zunimmt, wieder gerade zu richten und einen kreisförmigen Querschnitt anzunehmen sucht. Daraus folgt, dass das Ende C seinen Ort verändert; es bewegt dadurch einen Zeiger DEF, mit welchem es durch den Stab CD verbunden ist. Dieser Zeiger, der sich um den Punkt E bewegen kann,


Fig. 586.

zeigt mit seinem Ende F auf den betreffenden Punkt eines getheilten Bogens, dessen Eintheilung so gemacht worden ist, dass die Stellung des Zeigers den Druck des Dampfes in Atmosphären angibt. Das Metallmanometer von Bourdon ist viel bequemer als die vorhergehenden, deren Glasröhren leicht zerbrechlich sind, was ausser anderen Unannehmlichkeiten auch noch den Verlust an Quecksilber zur Folge hat; aber es ist nothwendig, dass man sich von Zeit zu Zeit versichert, ob die Angaben, welche es liefert, noch genau sind, weil unter dem längeren Einfluss der Drückungen, welche die gekrümmte Röhre in ihrem Innern zu erleiden hat, ihr Molukalarzustand langsamen Veränderungen ausgesetzt ist.

§. 456. Nach Dem, was wir oben über die Ursache der Kesselexplosionen gesagt haben (§. 453), muss man es besonders zu verhüten suchen, dass Theile der Wände aussen in Berührung mit der Flamme kommen, ohne innen vom Wasser bespült zu sein, gleichviel, ob diess in Folge des Kesselsteines oder in Folge davon, dass sich die Oberfläche des Wassers im Kessel zu sehr senkt, eintritt.

Vor den Wirkungen der ersten dieser beiden Ursachen kann man sich nur dadurch Schutz verschaffen, dass man das Innere des Kessels häufig reinigt. Man wendet auch manchmal ein besonderes Mittel an, welches darin besteht, gewisse Substanzen in den Kessel zu bringen, die je nach der Natur des aus dem Wasser sich bildenden Niederschlags verschieden sind und den Zweck haben zu verhindern, dass dieser Niederschlag erhärtet.

Was die Höhe des Wasserstandes im Kessel betrifft, so muss derselbe Gegenstand einer fortgesetzten Ueberwachung von Seiten des Heizers sein; zu diesem Zweck sind Apparate an dem Kessel angebracht, die in jedem Augenblick angeben, in welcher Höhe die Oberfläche des Wassers im Kessel steht. Unter diesen Apparaten führen wir zunächst den Schwimmer *c* (Fig. 578 Seite 834) an, welcher zu gleicher Zeit mit dem Niveau des Wassers steigt und fällt, und dessen Bewegung aussen durch einen dünnen, mit ihm verbundenen Stab sichtbar gemacht wird, welcher sich vertikal über ihn erhebt und die Kesselwand durchdringt. Man wendet auch häufig drei Hähne an, die vertikal übereinander, der eine in geringer Entfernung vom andern, so angebracht sind, dass der oberste dem höchsten, der mittlere dem mittleren und der unterste dem tiefsten Wasserstand entspricht. Wenn diese Hähne geöffnet werden, soll durch den obersten stets Dampf, durch den untersten stets Wasser ausströmen. Ein drittes Mittel, welches sehr geeignet ist, die Stellung der Oberfläche des Wassers im Kessel anzuzeigen, be-

steht in einer Glasröhre *d* (Fig. 577, Seite 833), welche an ihren beiden Enden mit dem Innern des Kessels in Verbindung steht und an der vorderen Seite desselben so angebracht ist, dass die Höhe des Niveaus bei mittlerem Wasserstand der Mitte ihrer Länge entspricht; das Wasser des Kessels kann frei von unten in die Röhre eintreten und stellt sich darin ebenso hoch wie im Kessel selbst. Am Stande des Niveaus in der Röhre kann also jeden Augenblick die Stellung der Oberfläche des Wassers im Kessel ersehen werden.

Die Mittel, welche wir soeben aufgezählt haben, können nur dann eine zu tiefe Senkung des Wasserspiegels im Kessel verhüten, wenn sie der Heizer sorgfältig und aufmerksam beobachtet; sie werden aber häufig in Folge der Nachlässigkeit dieses Arbeiters unwirksam gemacht. Man hat desshalb einen Apparat erdacht, welcher den Zweck hat, selbst die Aufmerksamkeit des Heizers wach zu rufen, wenn die Oberfläche des Wassers sich zu tief gesenkt hat. Dieser Apparat, Lärmschwimmer genannt, wird durch Fig. 587 dargestellt. Er besteht aus einem Schwimmer A, der an

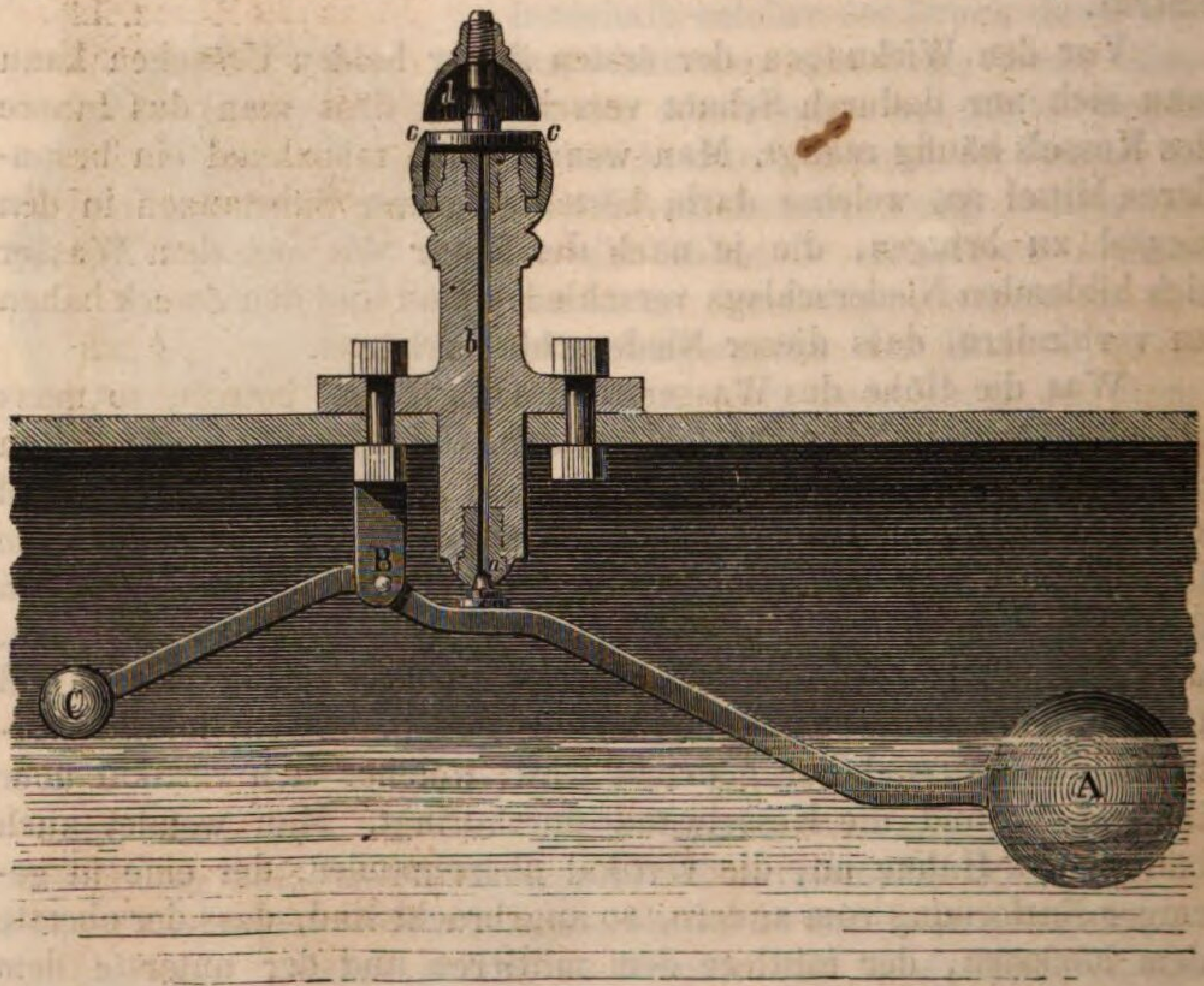


Fig. 587.

dem einen Ende eines Hebels ABC befestigt ist, welcher an seinem anderen Ende ein Gegengewicht C trägt. So lange der Wasserstand im Kessel hoch genug ist, wird der Schwimmer A durch die Flüs-

sigkeit von unten nach oben gedrückt; das konische Ventil *a*, welches dieser Hebel trägt, stützt sich auf diese Weise gegen die Oeffnung der vertikalen Röhre *b* und verschliesst diese Oeffnung vollständig. Aber sobald sich das Niveau mehr als zulässig gesenkt hat und mit ihm der Schwimmer A, so verschliesst das Ventil *a* nicht mehr die Röhre *b*, und der Dampf strömt durch diese Röhre, um durch die ringförmige Oeffnung *cc* zu entweichen. Der auf diese Weise gebildete Dampfstrahl begegnet den Rändern der Glocke *d* an ihrem ganzen Umfange, wodurch ein durchdringender Pfiff hervorgebracht wird, den Jedermann von den Lokomotiven her kennt, deren Dampfpfeifen auf dieselbe Art eingerichtet sind.

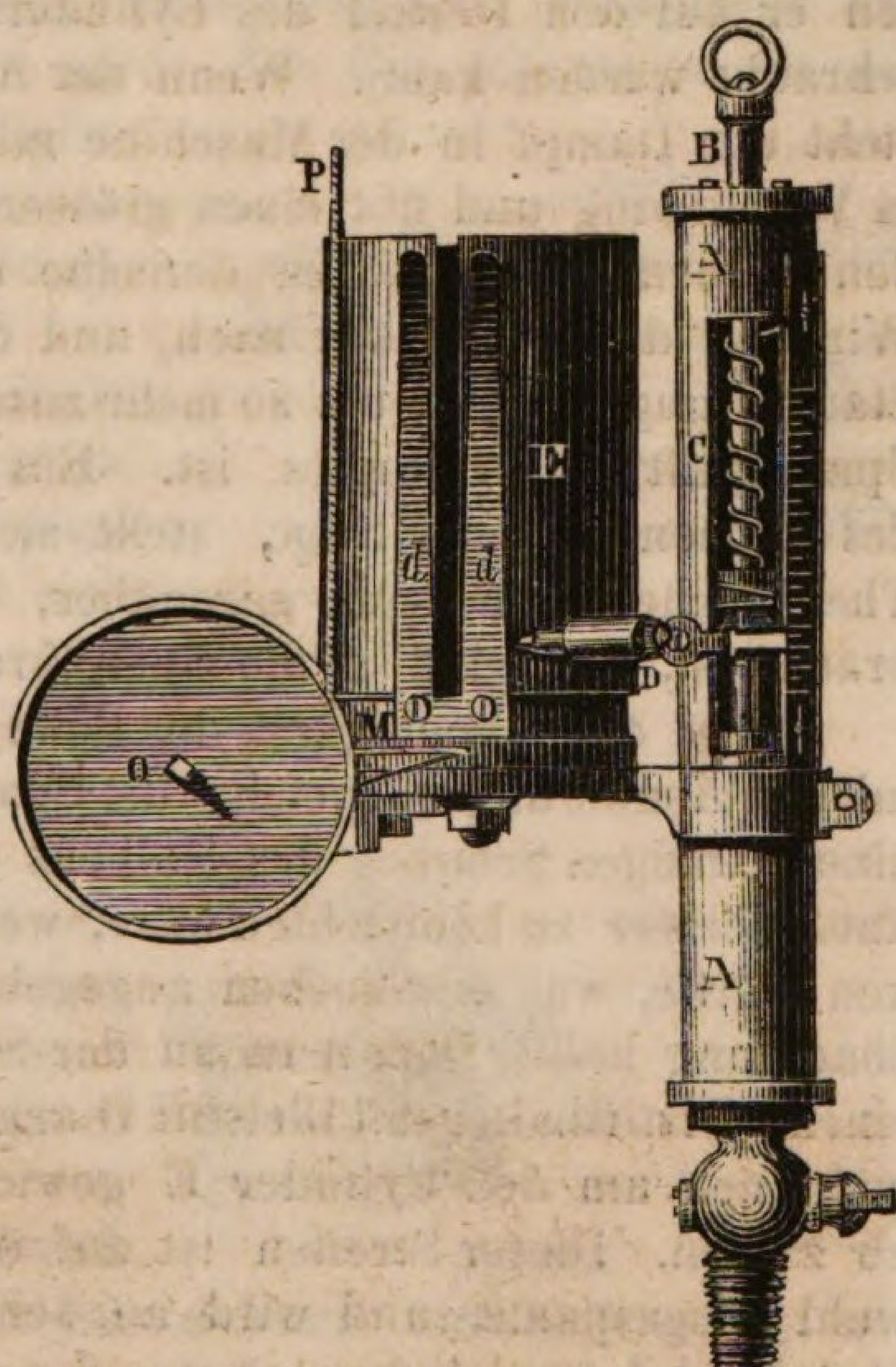


Fig. 588.

§. 457. **Der Watt'sche Indikator.** — Die Kenntniss der Spannkraft des Dampfes im Kessel, welche man durch die Anzeigen der Manometer erhält, reicht nicht aus, um die durch die Wirkung des Dampfes auf den Kolben entwickelte Arbeit zu berechnen; denn die Spannkraft des Dampfes ist in Folge der Widerstände, welche sich ihm bei seinem Uebergang aus dem Kessel in den Cylinder entgegensetzen, in letzterem gewöhnlich geringer als in ersterem. Andererseits besteht zu der Zeit, in welcher der Dampf mit Expansion wirkt, gar keine Verbindung zwischen Cylinder und Kessel, und das Manometer kann folglich nicht über Das Aufschluss geben, was im Cylinder vor sich geht. Aus diesen Gründen bringt man in dem Fall, wo man sich über die Vorgänge während des

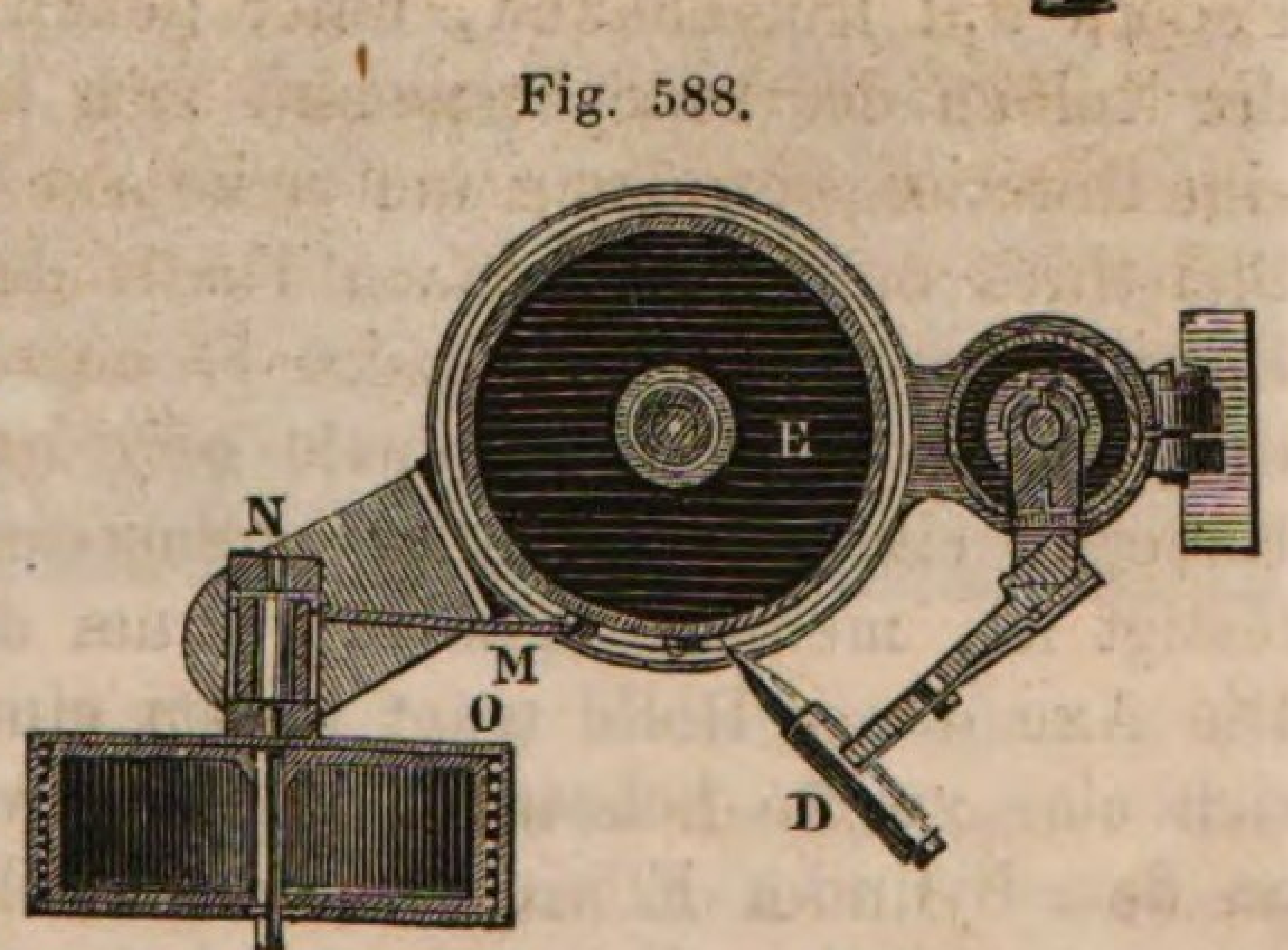


Fig. 589.

Gangs einer Dampfmaschine Rechenschaft verschaffen will, an dem Cylinder derselben ein besonderes Instrument an, das dazu bestimmt ist, die Spannkraft des Dampfes im Cylinder in jedem Augenblick kennen zu lernen. Dieses Instrument, das von Watt herrührt, ist unter dem Namen Watt'scher Indikator bekannt.

Es besteht aus einem kleinen Cylinder A (Fig. 588 u. 589), in welchem sich ein Kolben befindet, dessen Stange B über das obere Ende des Cylinders hervorragt. Dieser Cylinder ist an seinem unteren Theil mit einem Schraubengewinde versehen, mittelst dessen er auf den Deckel des Cylinders der Dampfmaschine aufgeschraubt werden kann. Wenn der Apparat diese Stellung hat, so steht der Dampf in der Maschine mit dem Innern des Cylinders A in Verbindung und übt einen grösseren oder geringeren Druck auf den Kolben aus, welchen derselbe enthält: der Kolben gibt der Wirkung dieses Druckes nach, und die Spiralfeder C, welche seine Stange umgibt, wird um so mehr zusammengedrückt, je grösser die Spannkraft des Dampfes ist. Ein Zeiger, welchen die Stange des kleinen Kolbens trägt, stellt sich auf diese Weise einem der Theilstriche einer Scala gegenüber, welche auf dem Cylinder angebracht ist, und gibt so die Spannkraft des Dampfes zu erkennen.

Aber die Schnelligkeit der Bewegung der Maschine, verbunden mit den Aenderungen, welche die Spannkraft des Dampfes während eines einzigen Schubes des Kolbens erfährt, macht, dass der Indikator schwer zu beobachten wäre, wenn er sich auf Das beschränken würde, was wir soeben angegeben haben. Der leichteren Beobachtung halber hat man an der Stange B des kleinen Kolbens einen Bleistifthalter mit Bleistift D angebracht, der dazu bestimmt ist, auf einen um den Cylinder E gewickelten Streifen Papier Linien zu ziehen. Dieser Streifen ist auf der Oberfläche des Cylinders E wohl ausgespannt und wird an seinen beiden Enden durch zwei Federn *d,d* festgehalten, unter denen er sich befindet. Während der Kolben der Dampfmaschine sich bewegt, erhält der Cylinder E eine Rotationsbewegung um seine Axe und bietet so der Spitze des Bleistiftes die verschiedenen Theile des Papierstreifens dar. Diese Bewegung wird dem Cylinder E durch die Maschine selbst gegeben. Zu diesem Zweck macht eine dünne Schnur P, deren oberes Ende an einem Punkte der Kolbenstange der Dampfmaschine befestigt ist, mehrere Windungen um die Oberfläche einer Rolle O. Die Axe dieser Rolle trägt hinten eine kleine Welle N, um welche sich eine zweite Schnur M wickelt, welche den Hals einer, unten an dem Cylinder E angebrachten Rolle umfässt, und deren Ende an einem Punkte dieses Halses festgemacht ist. Wenn sich der Kol-

ben der Dampfmaschine in gewissem Sinne bewegt, so zieht er an der Schnur P; diese Schnur dreht die Rolle O und wickelt sich von derselben ab; die Schnur M wickelt sich auf die Welle N auf und dreht so den Cylinder E. Wenn sich der Kolben der Dampfmaschine im entgegengesetzten Sinne bewegt, so kehren die verschiedenen Stücke in Folge der Wirkung einer im Innern des Cylinders E enthaltenen Feder in ihre ursprüngliche Stellung zurück, sodass der Streifen Papier, gegen welchen die Spitze des Bleistiftes angedrückt wird, eine abwechselnde Rotationsbewegung erhält, welche durch die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens der Dampfmaschine hervorgebracht wird. Die Fig. 590 zeigt, wie der Indikator auf dem Deckel des Cylinders einer Dampfmaschine mit vertikalstehendem Cylinder und Balancier aufgeschraubt ist.

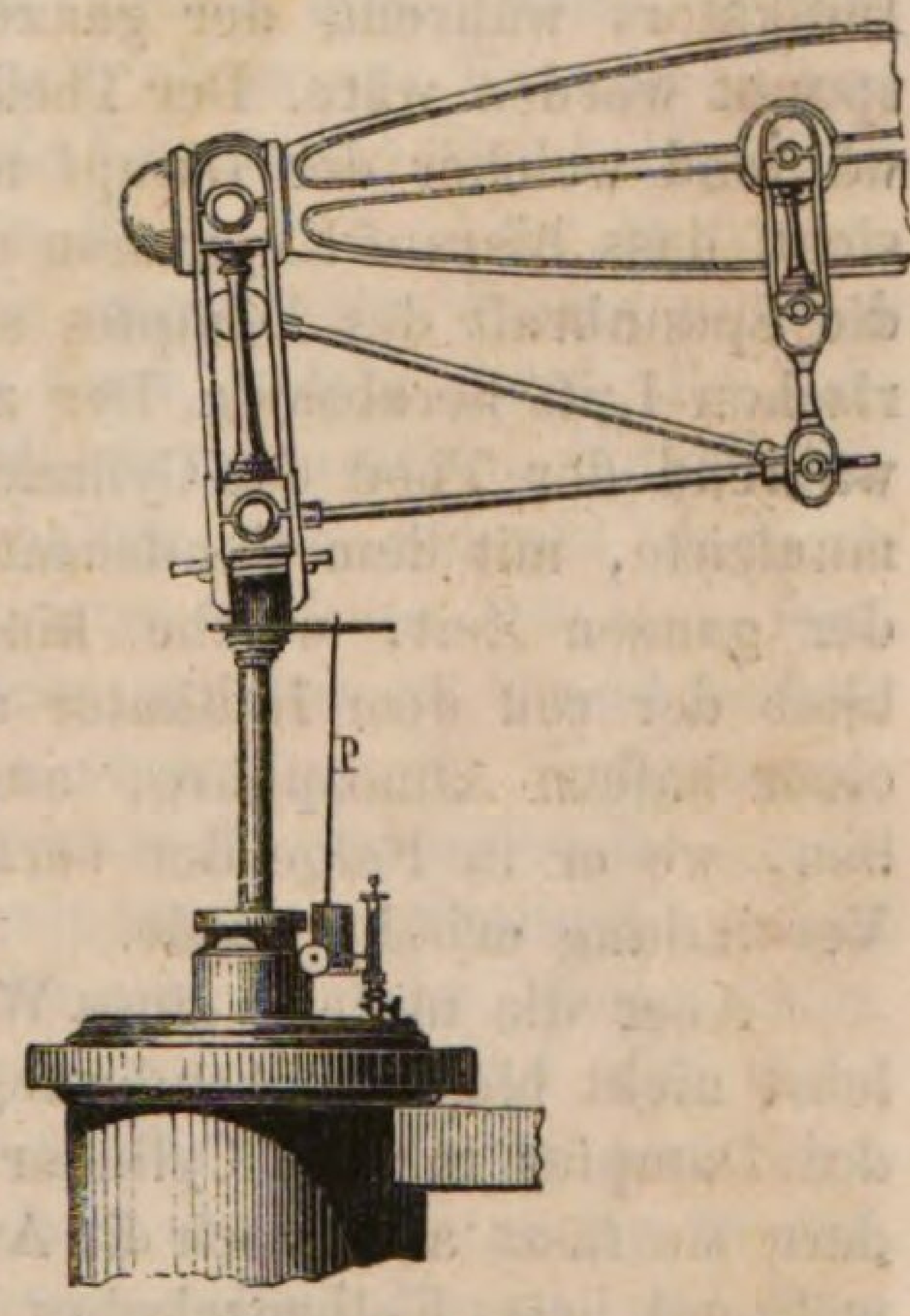


Fig. 590.

Während der Cylinder E allmälig verschiedene Theile des Papiers, welches ihn bedeckt, unter die Spitze des Bleistiftes D führt, bewegt sich diese letztere selbst mehr oder weniger im Sinne der Länge des Cylinders A, je nach den Aenderungen in der Spannkraft des Dampfes. Daraus folgt, dass der Bleistift auf dem Papier eine krumme Linie zeichnet, deren Gestalt von zwei Bewegungen zugleich abhängig ist, und deren Betrachtung die Aenderungen, welche fortwährend in der Spannkraft des Dampfes stattfinden, kennen lehren kann. Man sieht in Fig. 591 eine auf diese Weise mittelst des Watt'schen Indikators erhaltene Curve. Der Theil ABCD wurde von dem Bleistift gezeichnet, während der Treibkolben unter der Wirkung des Dampfes abwärts ging; der Theil DEF dagegen, während der Kolben wieder in die Höhe stieg. Die Linie GH ist diejenige, welche die Spitze des Bleistiftes durchlaufen haben würde, wenn der Theil des Cylinders, welcher mit dem Indikator in Verbindung stund, vollständig luft-

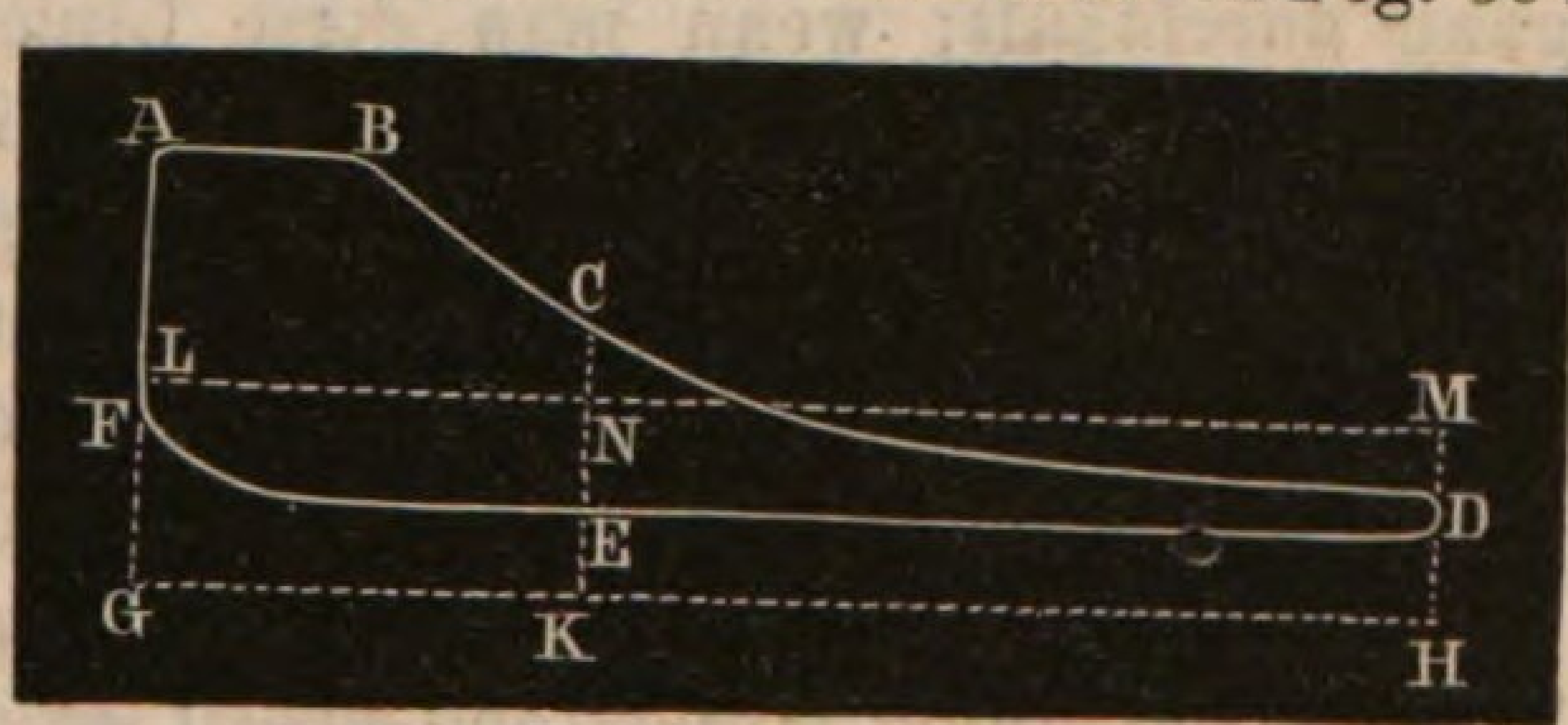


Fig. 591.

leer gewesen wäre. Die Senkrechte CK, welche von irgend einem Punkte C der Indikatorcurve auf diese gerade Linie GH gefällt wird, misst folglich die Grösse, um welche der kleine Kolben des Indikators durch den Druck des Dampfes in dem Moment in die Höhe gedrückt worden war, wo der Bleistift den Punkt C markirte; man kann also daraus und aus den Experimenten, welche vorher angestellt worden, um die Scala des Indikators zu erhalten, auf die Spannkraft des Dampfes in diesem Moment schliessen. Die gerade Linie LM ist diejenige, welche der Bleistift gezeichnet haben würde, wenn die Spannkraft des Dampfes fortwährend gleich derjenigen der atmosphärischen Luft gewesen, d. h. wenn die Spiralfeder des Indikators während der ganzen Zeit des Versuchs gar nicht gespannt worden wäre. Der Theil AB der Curve entspricht der Zeit, während welcher der Dampf mit vollem Drucke gewirkt hat. Man sieht, dass hierauf Expansion eintrat, und dass in Folge derselben die Spannkraft des Dampfes selbst unter diejenige der atmosphärischen Luft herabsank. Der zweite Theil DEF wurde gezeichnet, während der Theil des Cylinders, welcher mit dem Indikator communicirte, mit dem Condensator in Verbindung stand. Während der ganzen Zeit, welche hindurch diese Verbindung stattfand, blieb der von dem Indikator angezeigte Druck fortwährend unter einer halben Atmosphäre, ausgenommen gegen das Ende derselben, wo er in Folge der vorhergegangenen Unterbrechung dieser Verbindung erhöht wurde.

Aber die mittelst eines Watt'schen Indikators erhaltene Curve lehrt nicht blos die Aenderungen kennen, welche die Spannkraft des Dampfes in dem Cylinder einer Dampfmaschine erfährt, sondern sie lässt auch noch die Arbeit berechnen, welche die Maschine während jedes Kolbenschubes leistet. Die Linien GH oder LM bezeichnen den Weg, welchen der Kolben bei einem Hin- und Hergang durchläuft; wenn man diese Linien entsprechend in Meter theilt und die darauf senkrechten Linien CK, AG etc. in Kilogrammen ausdrückt, so sieht man mit grösster Leichtigkeit, dass der Dampf während der niedersteigenden Bewegung des Kolbens eine Arbeit leistet, deren Grösse, in Kilogrammetern ausgedrückt, durch den Flächeninhalt der Figur GABCDHG ausgedrückt wird. Während dessen leistet der auf der Gegenseite des Kolbens wirkende Dampf eine Widerstandsarbeit gleich dem Flächeninhalt der Figur GFEDHG, sodass die wirklich von der Maschine während eines Kolbenschubes geleistete Arbeit durch den Flächeninhalt der Figur ABCDEFA ausgedrückt wird.

§. 458. **Einiges über den Verbrauch und die zweckmässigste Benützung des Brennmaterials bei den Dampfmaschinen.** — Das Brennmaterial, welches zur Heizung der Dampfkessel angewendet wird, besteht entweder aus Steinkohlen oder Koks, seltner aus Holz. Aus den Experimenten, welche mit ersteren angestellt worden sind, folgt, dass die Verbrennung eines Kilogrammes Steinkohle ungefähr 7500 und die eines Kilogrammes Koks ungefähr 6000 Wärmeeinheiten (s. §. 429) liefert. Aus der Tabelle auf Seite 779 folgt, dass die Wärmemenge, welche zur Verwandlung eines Kilogrammes kalten Wassers in gesättigten Dampf von 4 bis 6 Atmosphären Spannkraft erfordert wird, nahezu 650 Wärmeeinheiten beträgt. Wenn folglich alle Wärme, welche durch die Verbrennung entwickelt wird, allein zur Erzeugung von Dampf verwendet würde, so würde ein Kilogramm Steinkohle $11^k,5$ Dampf erzeugen und ein Kilogramm Koks $9^k,2$. Aber es ist unmöglich, auf diese Weise die ganze entwickelte Wärme nutzbar zu machen. Einestheils müssen die Gase, welche durch die Verbrennung entstehen und durch den Kamin entweichen, nothwendig eine ziemlich hohe Temperatur behalten und nehmen dadurch einen bedeutenden Theil der producirten Wärme mit sich fort. Andererseits enthält die Luft, welche zu dem in Brand befindlichen Brennmaterial geführt werden muss, um die Verbrennung zu unterhalten, eine grosse Menge Stickstoff, und selbst der Sauerstoff, den sie enthält, wird nicht vollständig verbraucht, sodass eine bedeutende Masse Gas unnützerweise durchs Feuer zieht, sich mit den Verbrennungsprodukten vermischt und auf diese Weise einen weiteren Theil der entwickelten Wärme absorbirt. Wenn man damit noch verbindet, dass die Verbrennung in den Heizräumen der Dampfkessel selten ganz vollständig ist, und dass noch ein Theil der Wärme theilweise durch Strahlung nach aussen, theilweise durch allmälige Fortpflanzung in dem Mauerwerke des Feuerherdes verloren geht, so wird man einsehen, dass man in Wirklichkeit weit davon entfernt ist, die vorhin angegebenen Resultate zu erzielen. Die Erfahrung zeigt in der That, dass in den Feuerherden von bester Construction das Gewicht des durch 1 Kilogramm Steinkohle verdampften Wassers höchstens 7 bis 8 Kilogramme beträgt.

Wenn man an der Welle, welcher eine Dampfmaschine eine Rotationsbewegung ertheilt, eine dynamometrische Bremse (§. 218) anbringt, um die Arbeit, welche die Maschine zu leisten im Stande ist, zu bestimmen, so findet man, dass bei guten Maschinen mit Expansion und Condensation 1 Kilogramm Dampf ungefähr 30000

Kilogrammeter Nutzarbeit liefert. Wenn man hiezu Das nimmt, was wir oben bezüglich der Menge Dampf gesagt haben, welche durch 1 Kilogramm Steinkohle erzeugt wird, so wird man sehen, dass der Verbrauch an Steinkohlen per Stunde und Pferdekraft ungefähr $1^k,2$. beträgt. Diess ist aber freilich nur für die besten und für grosse Maschinen der Fall; bei kleineren und weniger guten Maschinen kann der Brennmaterialverbrauch auf 4 und 5^k Steinkohle per Stunde und Pferdekraft steigen.

§. 459. Um die Resultate, welche wir soeben angegeben haben, zu erreichen, ist es nothwendig, alle möglichen Mittel anzuwenden, um die Condensation des Dampfes von dem Augenblick an, wo er sich im Kessel bildet, bis zu dem Augenblick, wo er aufhört, in der Maschine zu wirken, zu verhüten. Zu diesem Zwecke muss die Röhre, welche den Dampf aus dem Kessel in die Maschine führt, mit schlechten Wärmeleitern, wie mit Stroh oder besser noch mit Wolle, umwickelt werden. Ausserdem muss auch dafür gesorgt werden, dass die Wärmestrahlung des Cylinders nach aussen vermieden ist. Man erreicht diess, indem man um den Cylinder einen zweiten von etwas grösseren Dimensionen, gewöhnlich aus Holz, legt und in dem ringförmigen Raum, welcher zwischen den beiden Cylindern frei bleibt, den ausgedienten Dampf circuliren lässt. Dieses Mittel kann aber vortheilhaft auch durch ein anderes ersetzt werden, das darin besteht, den Dampf-Cylinder mit einer Schichte von Kohlenstaub zu umgeben, die durch einen Mantel von Holz zusammengehalten wird.

Wenn die Temperatur des Cylinders einer Maschine nicht auf hinreichender Höhe gehalten wird, so folgt daraus ein Verlust an Dampf, der viel grösser ist, als man es auf den ersten Anblick glauben sollte. Es scheint in der That, dass nicht mehr Dampf verloren gehe, als derjenige, welcher sich condensirt, um dem Cylinder die Wärme wieder zu ersetzen, die er nach aussen ausstrahlt; aber wenn man etwas darüber nachdenkt, so findet man leicht, dass der Verlust an Dampf viel grösser ist. Wenn der Dampf aus dem Kessel in den Cylinder kommt, so condensirt er sich anfangs theilweise, um die Temperatur der Wände, mit welchen er in Berührung ist, zu erhöhen. Aber wenn er dann, nachdem er auf den Kolben gewirkt hat, in Verbindung mit dem Condensator gesetzt wird, so verliert er einen grossen Theil seiner Spannkraft, und das Wasser, welches von der im Cylinder stattgefundenen Condensation herrührt, verdampft von Neuem, um sich mit jenem Dampf zu vermischen und sich mit ihm in den Condensator zu ergiessen. Diese Verdampfung, welche in dem Cylinder

selbst stattfindet, erkältet die Wände desselben, und wenn nun von Neuem Dampf aus dem Kessel herüber kommt, so findet der beschriebene Vorgang nochmals statt u. s. f. Man begreift daraus, wie wichtig es ist, die Erkältung des Cylinders durch Ausstrahlung zu verhindern, da sie die Hauptursache dieser auf einander folgenden Condensationen und Verdampfungen in seinem Innern ist.

Wenn die Röhre, welche den Dampf aus dem Kessel in die Maschine leitet, diesen Dampf in geringer Entfernung über der Oberfläche der siedenden Flüssigkeit entnimmt, so reisst derselbe stets Wasser mit sich fort, welches auf diese Weise bis in den Cylinder geführt wird. Dieses Wasser veranlasst einen bedeutenden Verlust, nicht blos weil die Wärme, welche zur Erhöhung seiner Temperatur verwendet wurde, keine Wirkung hervorbringt, sondern besonders desshalb, weil es, in dem Cylinder angekommen, darin, wie wir soeben auseinander gesetzt haben, verdampft und dadurch eine bedeutende Erniedrigung der Temperatur der Wände desselben hervorbringt. Desshalb richtet man es so ein, dass der Dampf in solcher Weise aus dem Kessel entnommen wird, dass der eben beschriebene Uebelstand nicht stattfindet. Man erreicht diess, indem man oben über dem Kessel einen Raum, den sogenannten Dom anbringt, in welchem sich der Dampf ansammelt, und von dessen obersten Theil das Dampfrohr ausgeht. Durch dieses Mittel fällt das in dem Dampf enthaltene Wasser allmälig in den Kessel zurück, und der Dampf, welcher sich oben in dem Reservoir ansammelt, ist nahezu davon befreit.

§. 460. Es sind verschiedene Mittel versucht worden, um den Dampf auf vortheilhaftere Art wirken zu machen, als es bei den gewöhnlichen Dampfmaschinen geschieht. Eines der gebräuchlichsten dieser Mittel besteht in der Anwendung von überhitztem Dampf. Man leitet den gesättigten Dampf, der, wie oben gesagt, immer kleine Wasserbläschen mit sich fortreisst, in einen besonderen Raum, den Ueberhitzer, wo er sich zuerst ausdehnt und folglich eine geringere Spannung annimmt, dann aber durch Erhitzen über seine Sättigungstemperatur auf die frühere Spannkraft zurückgebracht wird, wobei er zu gleicher Zeit das vergrösserte Volumen, das zur Speisung des Cylinders erforderlich ist, beibehält. Da aber der Dampf eine geringere spezifische Wärme als das Wasser hat und auch an latenter Wärme, die zur Verdampfung des letzteren erforderlich ist, erspart wird, so ist klar, dass man durch dieses Mittel ein gewisses Volumen Dampf von gewisser Spannung durch einen geringeren Aufwand von Brennmaterial erhält, als wenn man dieselbe Menge gesättigten

Dampfs von derselben Spannkraft direkt im Kessel erzeugt hätte. Ueberdiess geschieht das Ueberhitzen in der Regel durch die von der Kesselfeuerung abziehende Feuerluft, sodass keine besondere Feuerung nothwendig ist. Nach sorgfältig angestellten Versuchen sollen diese Maschinen gegenüber den gewöhnlichen bei gleichem Aufwand von Brennmaterial eine um 60 Procent grössere Leistung geben.

Die vorgenannte Einrichtung, die besonders von Chaigneau und Bichon in Bordeaux in Anwendung gebracht wird, hat den Uebelstand, dass der völlig trockene überhitzte Dampf das Oel, welches zum Schmieren des Kolbens dient, zu schnell austrocknet, wodurch der Cylinder bald Ritzer bekommt und schlecht arbeitet. Diess soll durch eine Einrichtung der Gebrüder Wethered in Baltimore, die ein Gemisch von gewöhnlichem gesättigten und überhitztem Dampf anwenden, vermieden werden. Der Dampf wird aus dem Dom des Kessels durch zwei Röhren entnommen, von denen die eine direkt in die Dampfkammer führt, während die andere schlangenförmig durch einen Feuerkanal geht, in welchem der in ihr enthaltene Dampf durch die abziehende Feuerluft überhizt wird. Beide Röhren münden nebeneinander in die Dampfkammer; der aus der ersten strömende Dampf wird durch den überhitzten ausgedehnt, und die in demselben mitgeführten Wasserbläschen werden rasch in Dampf verwandelt und dadurch das Volumen des Gemisches vermehrt.

Bei den Maschinen mit Condensation wird der ausgediente Dampf in dem Condensator in Wasser verwandelt, welches Wasser hierauf zur Speisung des Kessels verwendet und auf diese Weise von Neuem in nutzbaren Dampf von erforderlicher Spannkraft verwandelt wird. Bei den Maschinen von Siemens in London wird der ausgediente Dampf, wie er aus dem Cylinder kommt, durch eine eigenthümliche Heizeinrichtung geführt, in welcher er seine ursprüngliche Spannung wieder erhält oder regenerirt wird, worauf man ihn unmittelbar wieder zum Druck verwendet. Man sollte hiernach glauben, dass ein und dieselbe Dampfmenge ohne neuen Zuschuss immer wieder benützt werden könne; aber unvermeidliche Dampfverluste machen immer einen kleinen Ersatz von Dampf nöthig. Ueberdiess verlangt die Einrichtung des Heizapparates einen Umtausch desselben und man lässt daher absichtlich bei jedem Hub einen kleinen Theil, etwa $\frac{1}{10}$ des Dampfes, austreten, der durch neuen Dampf aus dem Kessel wieder ersetzt wird. Nach Versuchen, die mit dieser Maschine angestellt worden

sind, soll der Verbrauch an Steinkohlen die Hälfte von dem bei gewöhnlichen Maschinen betragen.

§. 461. **Maschinen mit combinirten Dämpfen.** — Man benützt eigentlich bei den Dampfmaschinen nur einen sehr kleinen Theil der Wärme, welche zur Erzeugung des Dampfes verwendet wird. In der That sieht man, dass in dem Moment, wo der Dampf aufhört in dem Cylinder zu wirken, und wo er entweder mit dem Condensator oder mit der freien Luft in Verbindung gesetzt wird, in demselben noch eine bedeutende Menge Wärme enthalten ist, deren grösster Theil sich in gebundenem Zustande befindet. Man kam nun auf die Idee, diese Wärme dadurch nutzbar zu machen, dass man sie zur Verdampfung einer leichter verflüchtigbaren Flüssigkeit als das Wasser anwendet und den aus dieser Flüssigkeit entwickelten Dampf zur Erzeugung einer neuen Quantität von Arbeit benützt. Als solche zweite Flüssigkeit hat man Aether, Schwefelkohlenstoff, Holzgeist, Alkohol, Chloroform u. s. w. zu nehmen versucht und ist endlich bei letzterer stehen geblieben.

Die Maschinen, welche nach dieser Idee construirt wurden, werden durch den Wasserdampf und durch den Dampf aus Chloroform zugleich in Bewegung gesetzt; man bezeichnet sie mit dem Namen Maschinen mit combinirten Dämpfen. Zwei von einander getrennte Kolben bewegen sich, jeder in einem Cylinder, und empfangen, der eine die Wirkung des Wasserdampfes, der andere diejenige des Dampfes aus Chloroform; diese beiden Kolben wirken gleichzeitig auf ein und dieselbe Welle, welche sie in Rotation versetzen. Wenn der Wasserdampf in dem Cylinder, welcher für ihn bestimmt ist, aufgehört hat, zu wirken, so strömt er in einen Raum, wo er sich in Berührung mit den Wänden eines besonderen Gefässes, welches das Chloroform enthält, condensirt. Diese Flüssigkeit verdampft dadurch, und ihr Dampf, der eine hinreichende Spannkraft erhält, übt seine Wirkung in einem zweiten Cylinder aus, während in dem ersten eine neue Quantität Wasserdampf wirkt. Der Chloroformdampf endlich geht, nachdem er seine Wirkung ausgeübt hat, in einen Raum über, wo er, da dessen Wände fortwährend von aussen durch kaltes Wasser abgekühlt werden, condensirt wird.

Es leuchtet ein, dass die gleichzeitige Anwendung von Wasserdampf und des Dampfes einer leichter verflüchtigbaren Flüssigkeit eine grosse Ersparung an Brennmaterial herbeiführen sollte. Aber diese Ersparung ist von dem Verlust eines Theils der flüchtigen Flüssigkeit, welche man anwendet, begleitet, welchen Verlust man zwar ziemlich gering machen, aber niemals vollständig vermeiden

kann, und welcher von um so grösserer Wichtigkeit ist, je theurer die angewandte Flüssigkeit zu stehen kommt. Es scheint indessen doch, dass die Maschinen mit combinirten Dämpfen, welche man bis jetzt angewandt hat, aus dem Gesichtspunkt der Ersparung überhaupt gute Resultate gegeben haben.

§. 462. **Die calorische Maschine.** — Das Mittel, von welchem wir eben gesprochen haben, um einen Theil der Wärme, welche der Dampf besonders in gebundenem Zustande noch enthält, nachdem er schon aufgehört hat in einer Dampfmaschine zu wirken, wieder nutzbar zu machen, ersetzt den grossen Wärmeverlust, von welchem wir am Anfang des vorigen Paragraphen gesprochen haben, nur sehr unvollständig. Man hat sich desshalb nach anderen Mitteln umgesehen, diese Verluste zu vermeiden.

Für einen der besten Wege diess zu erreichen, hat man schon seit langer Zeit den gehalten, den Wasserdampf durch erwärmte atmosphärische Luft zu ersetzen, und dieser Gedanke ist es, der in den calorischen Maschinen verwirklicht werden soll. Wenn man die Spannkraft einer Luftmasse, die in einem geschlossenen Raume enthalten ist, durch Erhöhung ihrer Temperatur vergrössert, so kann man dieselbe in einer Maschine, die ähnlich wie die Dampfmaschinen eingerichtet ist, auf einen Kolben wirken lassen; allerdings muss sie hierauf, nachdem sie diese ihre Wirkung ausgeübt und den Kolben auf die andere Seite geschoben hat, mit der freien Luft in Verbindung gesetzt werden und behält dabei noch einen Theil der Wärme, welche ihr mitgetheilt worden ist. Aber diese verlorene Wärme ist hier ein viel geringerer Theil der verbrauchten Gesammtwärme als bei der Dampfmaschine und diess namentlich desshalb, weil bei der Erhitzung der Luft keine Wärme gebunden wird, wie das bei der Verdampfung des Wassers der Fall ist.

Aber die Anwendung von Luft anstatt des Wasserdampfes bietet noch einen zweiten Vortheil, der aus dem Folgenden klar werden wird. Wenn man die Zahlen betrachtet, welche die Spannungen der erhitzten Luft und die des gesättigten Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen ausdrücken, so gibt sich sofort ein bedeutender Unterschied zwischen den beiden zu erkennen. Während ein gewisses Quantum Luft, wenn es von 0° an nach und nach auf 100°, 200°, 300°, 600°, 900° erwärmt wird, die entsprechenden Spannungen von ungefähr $1\frac{1}{3}$, $1\frac{2}{3}$, 2, 3, 4 Atmosphären erhält (§. 267), besitzt der gesättigte Wasserdampf bei einer Temperatur von 100° eine Spannung von einer Atmosphäre, erhält aber schon bei 121° zwei, bei 144° vier, bei 159° sechs Atmosphären Spannung (s. die Tabelle auf Seite 778). Dar-

aus folgt also, dass ein gewisses Quantum Luft, um seine Spannung auf eine gewisse Höhe zu bringen, eine ungleich höhere Temperatur erhalten muss als der Dampf. Doch geht daraus nicht hervor, dass man zur Erzeugung einer gewissen Spannung bei Luft mehr Brennmaterial braucht als bei Dampf; es findet sogar das Gegentheil statt: Während man z. B., um 1 Kilogramm Luft von 4 Atmosphären Spannung zu erhalten, um es also auf 900° in seiner Temperatur zu erhöhen, ungefähr 180 Wärmeeinheiten nöthig hat, braucht man zur Erzeugung von einem Kilogramm Dampf von derselben Spannung ungefähr 650 Wärmeeinheiten; die zu beiden Operationen nöthigen Mengen von Brennmaterial werden sich also im Allgemeinen wie die Zahlen 180 und 650 verhalten.

Aber in der hohen Temperatur, welche man der Luft geben muss, um ihr nur eine einigermassen beträchtliche Spannung zu ertheilen, liegen zwei Nachtheile, die wir nun näher bezeichnen müssen. Der erste besteht darin, dass keiner der Stoffe, aus denen die zur Erhitzung der Luft dienenden Apparate gemacht werden müssen, einer Temperatur von über 200° auf die Dauer widerstehen kann; es ist also der Heizapparat einer schnellen Zerstörung unterworfen. Ausserdem muss, wie oben bereits bemerkt, die Luft, ähnlich wie der Dampf bei einer Dampfmaschine, auf einen Kolben wirken, den sie in einem Cylinder hin und her treibt. Dieser Kolben muss aber dicht an die Wände des Cylinders anschliessen und daher immer gut geschmiert werden, wenn er nicht sehr viel Kraft zu seiner Bewegung in Anspruch nehmen und den Cylinder sehr bald ausführen soll. Nun aber kennen wir kein Schmiermittel, das auch nur einer Temperatur von 200° widerstehen könnte: es verbrennt. Es ist also unmöglich den Kolben wirksam zu schmieren, wenn man nicht unmässig viel Schmiermaterial verbrauchen will.

Der zweite der oben berührten beiden Nachtheile besteht darin, dass die auf eine hohe Temperatur erhitzte Luft, nachdem sie ausgedient hat, einen so bedeutenden Antheil an Wärme mit sich fortnimmt, dass derselbe mit dem Wärmeverlust bei Dampfmaschinen schon fast wieder vergleichbar wird. Diesen zweiten Nachtheil hat Ericsson, durch den die calorische Maschine zuerst einen bedeutenden Schritt in ihrer Entwickelung weiter geführt wurde, durch eine höchst sinnreiche Einrichtung zu umgehen gesucht, die den Zweck hat, die Wärme der ausgedienten Luft mittelbar zur Erwärmung einer anderen Luftmasse zu verwenden. Indem bei der Maschine, welche Ericsson zuerst (um das

Jahr 1851) construirt hat, die Luft aus dem Cylinder tritt, um sich in die freie Luft zu ergiessen, durchstreicht sie eine grosse Anzahl von Metallnetzen aus Kupferdrath, an welche sie in Folge der grossen Oberfläche, die dieselben darbieten, fast den ganzen Wärmeüberschuss, welchen sie enthält, abgibt. Wenn hierauf eine neue Quantität erhitzter Luft in den Cylinder der Maschine geleitet werden soll, so durchdringt diese Luft, bevor sie noch erwärmt worden ist, dieselben Metallnetze, Regeneratoren genannt, und erhält von denselben die Wärme wieder, welche sie vorher von der austretenden Luft aufgenommen haben; es reicht dann hin, die Temperatur dieser Luft durch die Wirkung eines Feuers nur noch etwas zu erhöhen, damit sie in passender Weise auf den Kolben der Maschine wirken kann. Aber es ist theoretisch nachweisbar, dass selbst bei der vollkommensten Wirkung der Regeneratoren blos die Hälfte an Brennmaterial erspart wird, und dass diese, um diesem Resultat nahe zu kommen, sehr bedeutende Dimensionen erhalten müssen. Die 4 Regeneratoren, welche Ericsson bei der calorischen Maschine, die er zur Bewegung eines Schiffes anwandte, verwendete, waren jeder ungefähr 1300^k schwer und bewirkten ein Brennmaterialersparniss von 48 Procent. Dabei ist aber nicht zu vergessen, dass dem Ausströmen der ausgedienten Luft aus dem Cylinder ein um so grösserer Widerstand entgegengesetzt wird, je grösser der Regenerator ist, und dass dadurch ein Rückdruck auf den Kolben und somit eine schädliche Wirkung entsteht. Es ist daher wahrscheinlich, dass es vortheilhafter ist, die ausgediente Luft zum Erwärmen von Lokalitäten zu benützen oder sie unter den Rost des Heizapparates zu leiten.

Alles Bisherige zusammengefasst, hat eine hohe Temperatur der Luft also zwar eine bedeutendere Spannung derselben zur Folge, aber sie zerstört den Heizapparat in kürzester Zeit und macht es unmöglich, den treibenden Kolben der Maschine zu schmieren. Wollte man dagegen mit geringer Temperatur arbeiten, so würde die Luft nur eine so geringe Spannung erhalten, dass der Durchmesser des Kolbens und mit ihm die ganze Maschine ungeheuere Dimensionen annehmen müsste, die ihre praktische Ausführung unmöglich machen würde.

Nun hat man schon immer vorgeschlagen und es auch ausgeführt (Ericsson, Redtenbacher u. A.), die Luft vorher, ehe sie erwärmt wird oder in dem Raum, wo sie erwärmt wird, zu comprimiren. Dadurch wird freilich ihre Spannung eine grössere und die Dimensionen der Maschine kleiner, aber man darf nicht vergessen, dass diese Comprimirung von der Maschine selbst mittelst

einer Luftpumpe, die etwa den Speisepumpen der Dampfmaschinen zu vergleichen wäre, geschehen muss, und dass sie daher einen

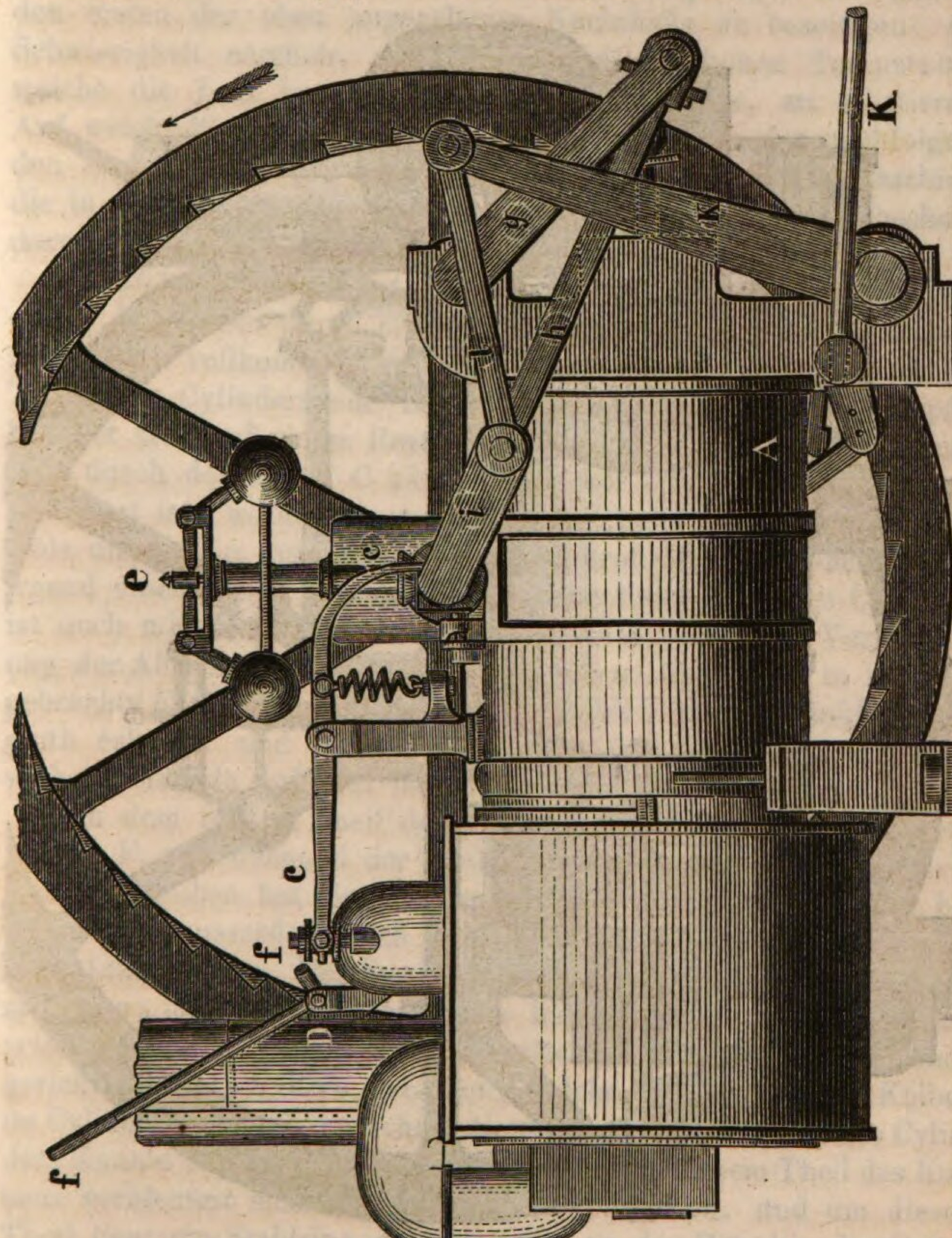


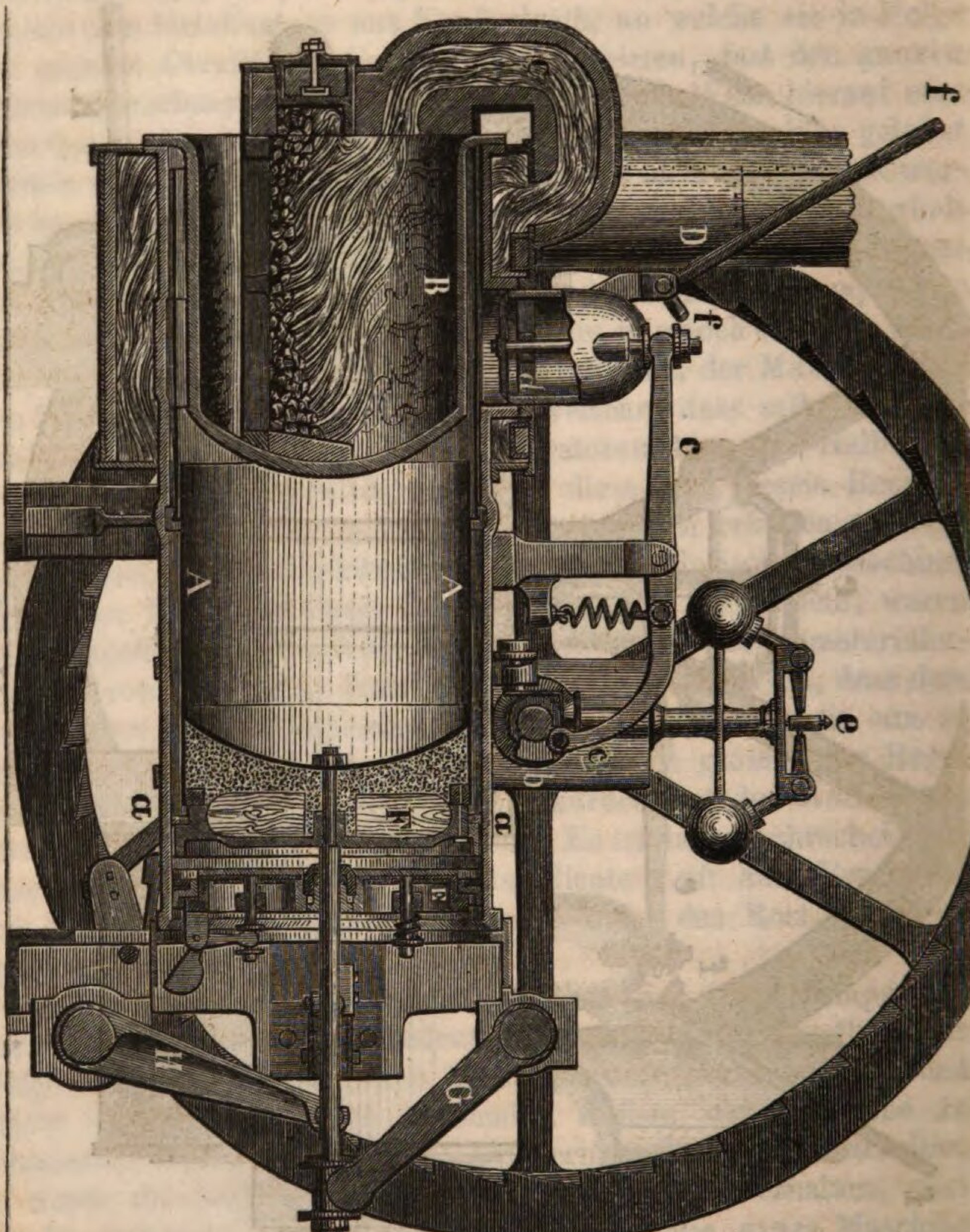
Fig. 592.

Theil der Kraft der Maschine in Anspruch nimmt. Und andererseits muss man bedenken, dass je höher die Spannung der Luft, desto nothwendiger ein dichtes Anschliessen des Kolbens und daher desto unerlässlicher ein wirksames Schmieren desselben wird.

So stehen auf der einen Seite hohe Temperatur und starke Compression der Luft einer schnellen Zerstörung der Heizapparate und der Unmöglichkeit des Schmierens des Kolbens, auf der an-

deren Seite niedrige Temperatur und geringe Compression einer ungeheueren Vergrösserung der Dimensionen der Maschine ein-

Fig. 593.



ander gegenüber — Gegensätze, die anscheinend unvereinbar sind, und an denen auch alle früheren Versuche, Ericssons sowohl als Anderer, scheiterten.

Bei dem neuen Fortschritt, den die calorische Maschine unter dem rastlosen Streben Ericssons vor einigen Jahren genommen hat, sehen wir, dass Ericsson die Verdichtung der Luft sowie auch seine Regeneratoren aufgegeben und sich damit begnügt hat,

Maschinen von geringerer Kraft und nicht sehr hoch erhitzter Luft herzustellen. Dafür richtete er sein Hauptaugenmerk darauf, den ersten der oben angegebenen Nachtheile zu beseitigen, die Schwierigkeit nämlich, den Kolben bei der hohen Temperatur, welche die Luft immerhin noch erhalten muss, zu schmieren. Auf welche Weise er diess erreicht hat, wird aus der nachfolgenden Beschreibung der neuen Ericsson'schen calorischen Maschine, die in Fig. 592 in der Ansicht, in Fig. 593 im Längendurchschnitt dargestellt ist, ersichtlich werden.

§. 463. AA ist der Cylinder der Maschine, der rechts ganz offen, links aber durch einen hereinragenden, gusseisernen Topf B dadurch vollkommen geschlossen ist, dass die Ränder dieses Topfes am Cylinderrande befestigt sind. Innerhalb dieses Topfes befindet sich auf einem Roste die Feuerung, deren Verbrennungsgase durch den Kanal C ziehen, der vor Abkühlung hinreichend geschützt ist, worauf sie den hinteren Theil des Cylinders nochmals umspühlen, um dann in das Rauchrohr D abzuziehen, das in irgend einen Kamin mündet. Der ganze linke Theil des Cylinders ist noch mit einem Kasten, gleichfalls zum Zweck der Verminderung der Abkühlung nach aussen, umgeben. Durch die in ihm angebrachte Feuerung werden die Wände des Topfes in dunkler Rothgluth erhalten und erwärmen dadurch die an ihrer Aussenseite vorbeiströmende Luft auf ungefähr 200°.

In dem rechten Theil des Cylinders bewegen sich zwei Kolben E und F, von denen E der Treib- und F der Speisekolben heisst. Der Treibkolben hat eine Liderung mit Lederstulpen; in ihm befinden sich ausserdem noch zwei Ventile von Stahlblech, die sich nach innen öffnen. Der Speisekolben ist von eigenthümlicher Construktion; der am weitesten rechts liegende Theil desselben ist auf seiner krummen, cylindrischen Oberfläche mit zu seiner Axe schief gerichteten Einschnitten versehen, welche, wenn sich der Kolben im Cylinder befindet, zwischen diesem und den Wänden des Cylinders Kanäle bilden. Unmittelbar links neben diesem Theil des Kolbens verkleinert sich der Durchmesser desselben, und um diesen Theil liegt ein Stahlring *aa*, der zwar an den Wänden des Cylinders ziemlich gut anschliesst, dessen innere krumme Fläche jedoch den Kolben nicht berührt, so dass sich zwischen diesem Ring und dem Kolben ein Zwischenraum befindet. Dieser Ring kann sich nach links und rechts etwas, aber nicht viel, verschieben. Rechts wird seine Bewegung von dem dort befindlichen weiteren Theil des Kolbens aufgehalten, und in dieser Stellung versperrt er die Kanäle, die in diesem Theil angebracht sind. Links schlägt der Ring an

etwa zwölf rings um den Kolben stehende Stiften an und gestattet in dieser Stellung der Luft von der rechten Seite des Speisekolbens durch die Kanäle und den Zwischenraum zwischen Kolben und Ring auf die linke Seite des Kolbens zu treten. Der Ring *aa* bildet also ein Ventil, das sich nach links öffnet, und ist zugleich die einzige Liderung des Speisekolbens.

Der Speisekolben F ist mit Kohlenstaub und Holz ausgefüllt, schlechtleitenden Substanzen, die den Treibkolben vor der Einwirkung der heissen Luft, die sich auf der linken Seite des Speisekolbens befindet, schützen sollen. Nach links verlängert sich der letztere in einem Blechmantel, der sich bei der Bewegung dieses Kolbens nach dieser Seite hin nahe um die Wände des Topfes B legt und dadurch bedeutend erwärmt wird. Er schiebt sich dabei in einen zweiten, feststehenden Blechcylinder hinein, der die Wände des Topfes vor Wärmeverlust durch Strahlung zu schützen hat.

Die Kolbenstange des Speisekolbens geht mittelst einer Stopfbüchse luftdicht durch den Treibkolben E hindurch und steht mit der Kurbel G in Verbindung. An der Axe derselben Kurbel sitzt eine zweite *g* (Fig. 592), die mittelst des Hebels *h* und der Kurbel *i*, an welcher ersterer mittelst eines Gelenkes befestigt ist, mit der Schwungradwelle in Verbindung steht. Der Treibkolben E hat zwei zu beiden Seiten seines Mittelpunkts stehende Kolbenstangen, die die Stange des Speisekolbens zwischen sich führen und mit der Kurbel H in Verbindung stehen. Auf der Axe dieser Kurbel sitzt ebenfalls eine zweite *k* (Fig. 592), die wiederum mittelst des Hebels *l* und der Kurbel *i* mit der Schwungradwelle verbunden ist. Durch diese Einrichtung wird es möglich, dass sich beide Kolben unabhängig von einander, jeder in seiner Weise, bewegen können, und die Art dieser Bewegung der beiden Kolben ist der eigentliche Kern der neuen Ericsson'schen Construktion, wie wir sogleich sehen werden.

Die Maschine ist, da der Cylinder rechts offen ist, eine einfach wirkende; der Rückgang der beiden Kolben, die beide beinahe zu gleicher Zeit dicht an einander am rechten Ende des Cylinders ankommen, wird durch das Schwungrad besorgt, das zu diesem Ende ein einseitiges, d. h. auf seiner einen Hälfte mit Blei ausgegossen ist. Beim Anlauf der Maschine wird dieses mittelst des Hebels K (Fig. 592), der vorn mit einem Hacken in die Einschnitte des Schwungrads eingreift, so gestellt, dass sein schwerer Theil oben ist, und dann stehen beide Kolben am rechten Ende des Cylinders (Fig. 594). Zugleich berührt der Daumen *b* (Fig. 593), der an der Schwungradwelle sitzt, eben das Ende des Hebels *cc*, der mittelst einer Spiralfeder das Auslassventil *d* für gewöhnlich geschlos-

sen hält. Wenn sich nun das Schwungrad in Folge seines einseitigen Gewichtes dreht, so öffnet der Daumen *b* das Auslassventil *d*, und zugleich bewegen sich beide Kolben nach links. In Folge der oben erwähnten Hebel- und Kurbelverbindungen bewegt sich aber der Speisekolben viel schneller als der Treibkolben, sodass er nach

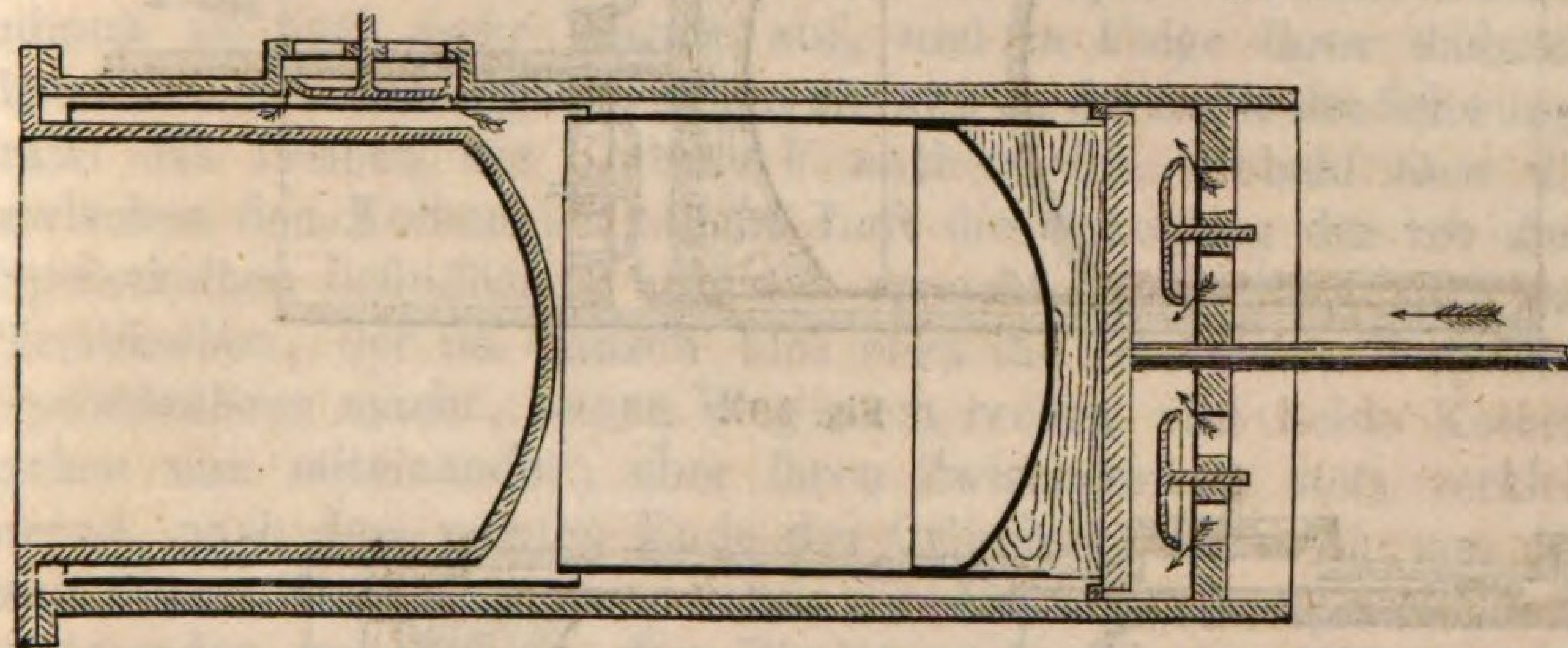


Fig. 594.

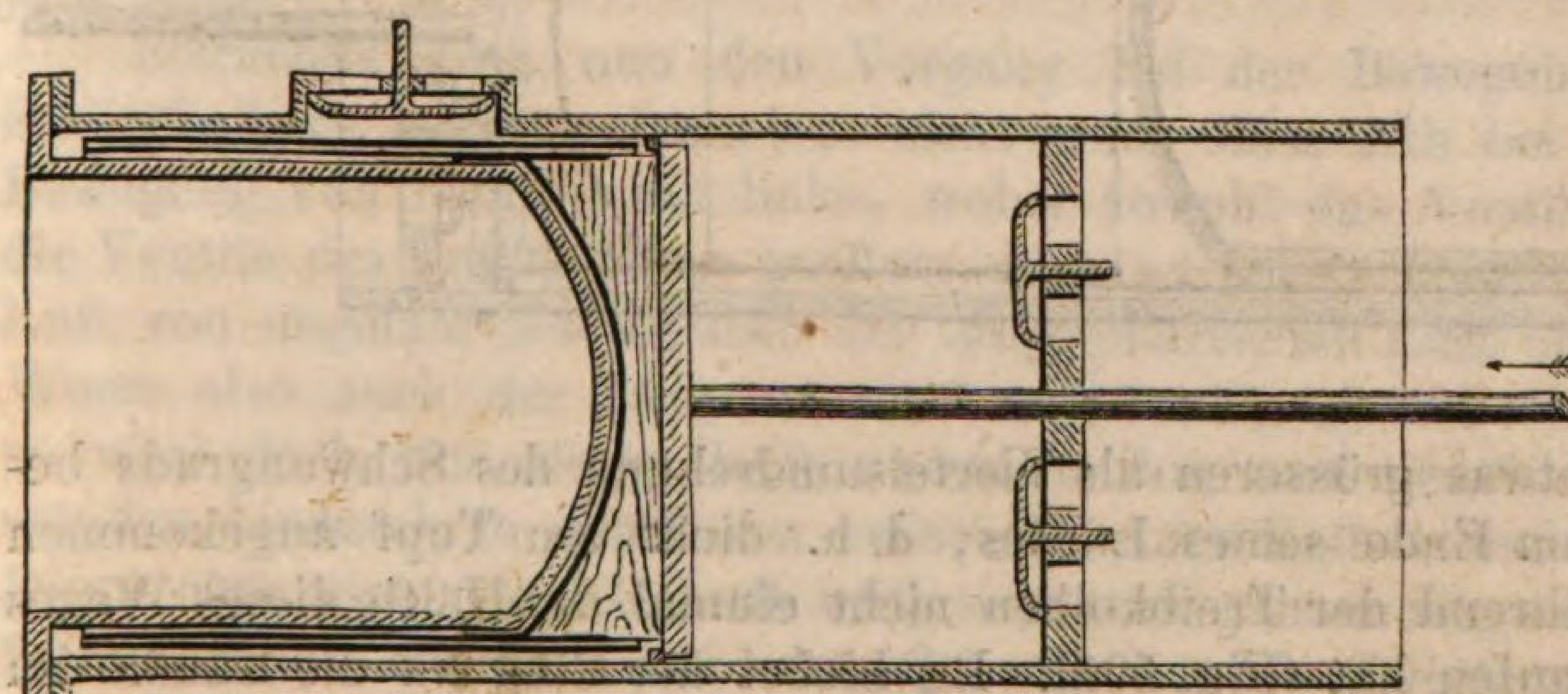


Fig. 595.

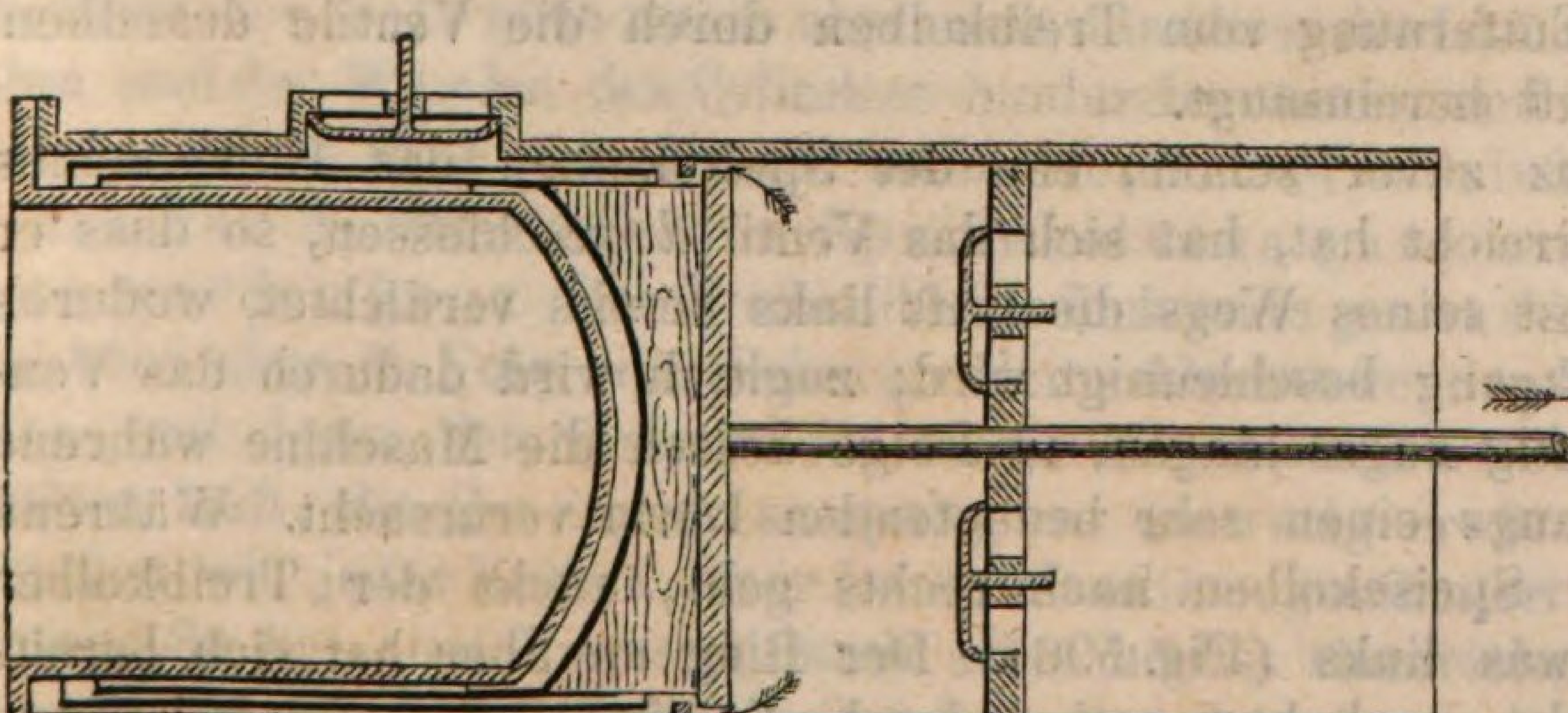


Fig. 596.

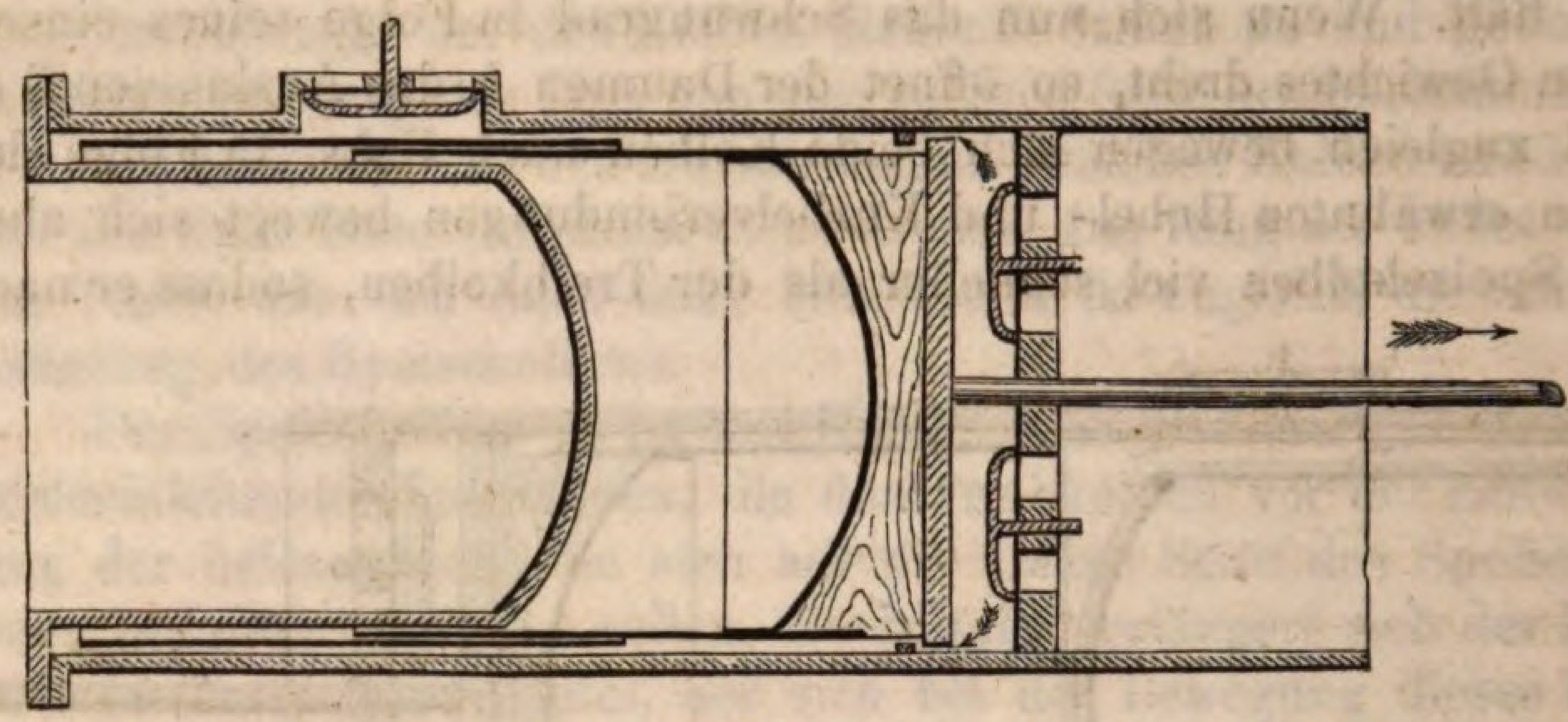


Fig. 597.

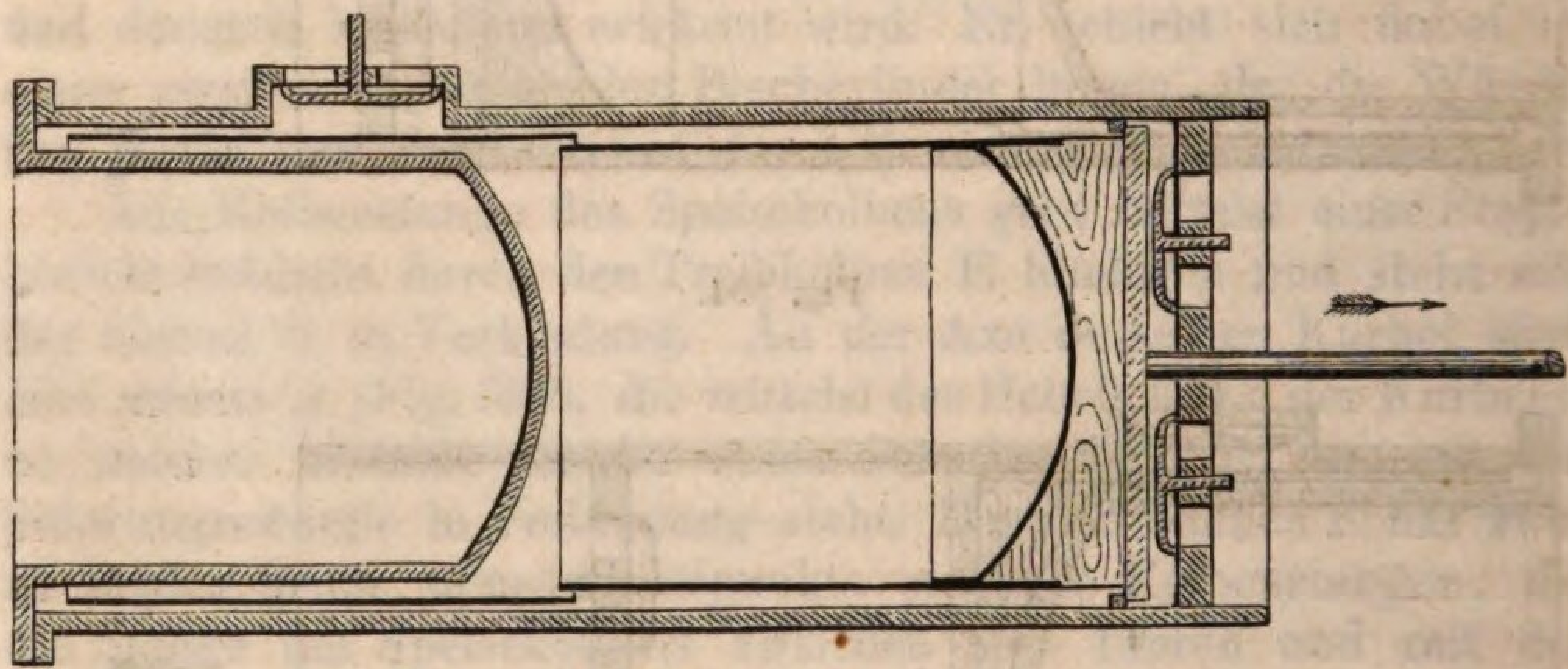


Fig. 598.

einer etwas grösseren als Viertelsumdrehung des Schwungrads bereits am Ende seines Laufes, d. h. dicht am Topf angekommen ist, während der Treibkolben nicht einmal die Hälfte dieses Weges durchlaufen hat (Fig. 595). Da hiebei der Ring *aa* die Kanäle im Speisekolben verschliesst, so wird die Luft vor demselben durch das Ventil *d* ausgetrieben, während der Speisekolben durch seine rasche Entfernung vom Treibkolben durch die Ventile desselben kalte Luft hereinsaugt.

Kurz zuvor schon, ehe der Speisekolben das Ende seines Laufs erreicht hat, hat sich das Ventil *d* geschlossen, so dass er beim Rest seines Wegs die Luft links bereits verdichtet, wodurch der Rückgang beschleunigt wird; zugleich wird dadurch das Ventil *d* heftig zugeschlagen, in Folge dessen die Maschine während ihres Gangs einen sehr bedeutenden Lärm verursacht. Während nun der Speisekolben nach rechts geht, rückt der Treibkolben noch etwas links (Fig. 596). Der Ring *aa* aber hat sich bereits nach links geschoben und dadurch die Kanäle des Speisekolbens geöffnet, während sich die Ventile im Treibkolben schliessen. Die

zwischen beiden Kolben befindliche Luft strömt daher durch jene Kanäle und zwischen dem nun stark erwärmten Blechmantel und den Wänden des Cylinders in einer dünnen Schichte hindurch, und erwärmt sich dadurch bereits an dem ersteren ziemlich bedeutend; an den glühenden Wänden des Topfes vorbeistreichend, nimmt sie noch mehr Wärme auf, und in Folge ihrer dadurch bewirkten Ausdehnung übernimmt sie nun an der Stelle des Schwungrads das Treiben des Kolbens F nach rechts. Sobald aber die zwischen den Kolben befindliche Luft die Spannung der vor dem Speisekolben befindlichen erhitzten erreicht hat, beginnt auch der Treibkolben, der im Ganzen blos etwa die Hälfte des Wegs des Speisekolbens macht, seinen Weg nach rechts, und beide Kolben gehen nun miteinander, aber ihren Zwischenraum stets verkleinernd, nach dem rechten Ende des Cylinders, indem sie von der aus ihrem Zwischenraume durch die Kanäle des Speisekolbens strömenden und sich an dem Blechmantel und den Wänden des Topfes erwärmenden Luft vorwärts getrieben werden (Fig. 597 und 598).

Betrachtet man nun den Vorgang bei der Bewegung des Speisekolbens etwas genauer, so sieht man, dass sich bei seiner Bewegung von rechts nach links, wobei sowohl das Ventil *d* als die Ventile des Treibkolbens geöffnet sind, zu seinen beiden Seiten Luft von ungefähr dem Drucke der atmosphärischen Luft befindet. Wenn also auch der Ring *aa* nicht vollständig genau schliesst, so wird doch nur wenig Luft zwischen ihm und den Cylinderwänden hindurch in den Raum zwischen beiden Kolben eindringen. Diese etwa einströmende Luft wird sich zum ganzen eingesogenen Luftquantum ungefähr wie der Querschnitt der Zwischenräume zwischen dem Ring und den Wänden des Cylinders zum Querschnitt der Ventile des Treibkolbens verhalten. Bei der Bewegung des Speisekolbens von links nach rechts aber muss ohnediess die Luft zwischen ihm und den Wänden des Cylinders hindurchströmen, und ein dichter Anschluss wird hier also gar nicht erfordert. Man sieht also, dass das Schmieren des Speisekolbens ganz unterlassen werden kann. Der Treibkolben jedoch muss genau schliessen; er wird aber in Folge des Schutzes der schlechtleitenden Materialien, mit denen der Speisekolben ausgefüllt ist, und in Folge der kalten Luft, die ihn immer umspült, nur so wenig erwärmt, dass er fast wie jeder Kolben einer Dampfmaschine geschmiert werden kann. So hat also Ericsson durch seine höchst sinnreiche Bewegung der Kolben die eine Schwierigkeit, das Schmieren desjenigen, der mit heisser Luft in Berührung ist, vollkommen beseitigt. Frei-

lich ist die Compression der Luft in seiner Maschine fast Null, und die Erwärmung nicht sehr bedeutend (ungefähr 200°); die Spannung der erhitzten Luft ist daher nur gering, nach Indicatormessungen, die an einer kleinen Maschine von ungefähr einer Pferdekraft angestellt wurden, im Maximum, das etwa in der Hälfte des Wegs des Speisekolbens eintritt, 1,6 Atmosphären. Man wird also auch die neue Maschine Ericssons, wenn man ihre Dimensionen nicht sehr bedeutend vergrössern will, nur für kleinere Kraftleistungen, die sich höchstens vielleicht auf 3 (bei zwei gekuppelten Maschinen auf 6) Pferdekräfte erheben können, anwenden dürfen.

Die übrigen auf der Zeichnung noch sichtbaren Theile der Maschine können kurz abgemacht werden; *e* ist ein gewöhnlicher Centrifugalregulator, der hier so wirkt, dass er bei zu raschem Gang der Maschine heisse Luft unmittelbar aus dem Cylinder strömen lässt. Der Hebel *ff* dient zum Abstellen der Maschine, indem man mit ihm das Ventil *d* öffnet und geöffnet erhält.

In Folge der nur geringen Kraftleistung, welche die neue Ericsson'sche Maschine gibt, kann sie natürlich mit den stärkeren Dampfmaschinen, wie sie in grösseren Fabriken angewandt werden, nicht in Concurrenz treten. Sie müsste, wenn sie zu grösseren Kraftleistungen verwendet werden sollte, zu grosse Dimensionen erhalten. Bei den kleinen Maschinen von 1 bis höchstens 3 Pferdekräften hat die Erfahrung gezeigt, dass der Brennmaterialverbrauch per Stunde und Pferdekraft zwar grösser als bei den stärkeren Dampfmaschinen, aber noch geringer ist als bei den Dampfmaschinen von ungefähr derselben Stärke. Dazu kommt noch, dass die calorische Maschine verhältnissmässig nur wenig Raum einnimmt, leicht zu behandeln ist und, da das Gefährliche der Kesselexplosionen, das bei den Dampfmaschinen zu befürchten ist, völlig wegfällt, überall aufgestellt werden kann. Freilich hat die Erfahrung auch schon Nachtheile herausgestellt. Der erste ist die immerhin noch schnelle Abnützung der Kolben, und der zweite besteht darin, dass sie in der Leistung, welche sie geben können, zu wenig Spielraum gestatten. Während bei den Dampfmaschinen durch höhere Spannung des Dampfes leicht eine bedeutend höhere Kraft erzielt werden kann, sind die calorischen Maschinen trotz vermehrten Heizens nicht im Stande, bedeutend mehr als die Leistung zu geben, für welche sie ursprünglich bestimmt sind.

In ganz neuester Zeit hat man es wieder versucht, calorische Maschinen mit Hochdruck zu construiren, in denen die Luft, ehe man sie erhitzt, comprimirt wird. Allein es scheint nicht, dass günstige Resultate damit erzielt werden können.

§. 464. **Dampfschiffe.** — Die erste Idee, den Dampf bei der Schifffahrt anzuwenden, rührt von Papin her. Er hat dieselbe in einem, im Jahre 1596 gedruckten Werke niedergelegt, in dem er ein Mittel angibt, die geradlinige hin- und hergehende Bewegung eines Kolbens in eine continuirliche Rotationsbewegung der Welle zu verwandeln, welche an ihren Enden sich drehende Ruder, Schaufelräder, trägt.

Im Jahre 1775 construirte Périer in Paris das erste Schiff, bei welchem es versucht wurde, den Dampf als bewegende Kraft anzuwenden. Dieses Schiff hat indessen nur zu Versuchen gedient.

Im Jahre 1781 baute Jouffroy auf der Saone ein Schiff, welches wirklich einige Zeit hindurch in Gang war.

Aber das erste Schiff, welches nach den ersten Versuchen, die mit ihm angestellt wurden, in Benützung blieb, findet sich erst im Jahre 1807. Dieses Schiff wurde von Fulton in New-York gebaut und zur Beförderung von Reisenden sowohl als Waaren angewendet. Einige Jahre nachher wurde ein Schiff derselben Art in England in Thätigkeit gesetzt. Von dieser Zeit an aber machte die Dampfschifffahrt reissende Fortschritte und breitete sich bedeutend aus.

Die Einrichtung, welche man angenommen hat, um die Kraft des Dampfes zur Hervorbringung der Bewegung eines Schiffes zu verwenden, ist nach Dem, was wir bisher über die Dampfmaschine gesagt haben, leicht zu verstehen. Es reicht in der That hin, die in §. 451 angegebenen Mittel anzuwenden, um die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens einer Maschine in eine rotirende Bewegung der Welle zu verwandeln, welche an ihren beiden Enden die Schaufelräder trägt (§. 351); in ähnlicher Weise wird bei den Schraubenschiffen (§. 352) die Axe der Schraube durch die Dampfmaschine in Rotation gesetzt. Gewöhnlich wendet man zwei Dampfmaschinen zugleich an, die beide doppelt wirkend sind, und welche eine und dieselbe Welle drehen. Die Kurbeln, mittelst welcher die beiden Kolben auf die Welle wirken, sei es nun direkt, sei es mit Hülfe von Bleuelstangen und selbst eines Balanciers, bilden einen rechten Winkel miteinander, sodass wenn die eine von ihnen horizontal steht, die andere vertikal ist und umgekehrt. Diese Einrichtung hat den Zweck, die Unregelmässigkeiten, welche bei der Uebertragung der Bewegung auf eine rotirende Welle mittelst einer Kurbel immer vorkommen, wenigstens zum grössten Theil zu beseitigen (§. 149). Wenn die eine der Kurbeln so steht, dass der Kolben, welcher ihr entspricht, nur wenig Wirkung ausüben kann, so befindet sich die andere im

Gegentheil in solcher Stellung, wo der zweite Kolben seine volle Wirksamkeit ausübt.

§. 465. **Lokomotiven.** — Die Erfindung der Lokomotiven, deren man sich zur Fortbewegung der Wagenzüge auf den Eisenbahnen bedient, gehört der neuesten Zeit an. Indessen gehen die Versuche, welche angestellt wurden, um Wagen mittelst Dampf fortzubewegen, bis auf das Jahr 1769 zurück. Um diese Zeit construirte ein französischer Ingenieur, Cugnot, einen Dampfwagen, der sich auf den gewöhnlichen Strassen fortbewegen sollte. Die Versuche mit diesem Wagen gelangen insoweit, als er durch den Dampf in der That in Bewegung gesetzt und mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 4 Kilometer in der Stunde fortbewegt wurde; aber diese Bewegung konnte nur kurze Zeit forterhalten werden, weil der Kessel nicht im Stande war, eine genügende Menge Dampf für den Consum der Maschine zu liefern.

Wir haben oben (§. 452) gesagt, dass ein Kessel nur dann in einer bestimmten Zeit eine gegebene Menge Dampf liefern kann, wenn die Heizfläche desselben eine hinreichende Grösse besitzt. Die Schwierigkeit, diese Bedingung bei einem Kessel, der durch den Wagen selbst getragen werden soll, zu befriedigen, trägt namentlich die Schuld, dass die verschiedenen Versuche, welche angestellt worden sind, um den Dampf zur Fortbewegung von Wägen zu benützen, lange Zeit hindurch ohne Erfolg blieben. Man konnte es nicht erreichen, der Heizfläche des Kessels eine Grösse zu geben, die im Verhältniss mit der grossen Menge des Dampfes steht, die der schnelle Gang einer Lokomotive erfordert. Erst im Jahre 1828 wurde dieses Problem auf die glücklichste Weise von Séguin gelöst. Die Form, welche derselbe für die Lokomotivkessel erfand, ist diejenige, welche man noch heute anwendet; wir werden sie bei der vollständigen Beschreibung einer Lokomotive kennen lernen.

Als eigentlicher Erfinder der Lokomotive, sowie überhaupt der ganzen Art und Weise des Fortschaffens der Lasten auf den Eisenbahnen, wie wir sie heute anwenden, muss aber Stephenson angesehen werden. Er wandte zuerst die gegenwärtig in Gebrauch stehenden glatten Schienen an, nachdem man immer der Meinung war, dass es unmöglich sei, die Lokomotive auf solchen fortzubewegen und namentlich in Frankreich vergebliche Versuche gemacht hatte, gezahnte Schienen anzuwenden. Ausserdem rührt die ganze Einrichtung der Lokomotiven, die in allen wesentlichen Theilen bis heute unverändert beibehalten worden ist, von diesem genialen englischen Ingenieur her.

§. 466. Die Figur 599 zeigt eine der Lokomotiven, wie sie auf der Eisenbahn von Paris nach Rouen angewendet werden; die Fig. 600 gibt einen Längendurchschnitt derselben, und die Figuren 601 und 602 sind Querschnitte, die an ihren beiden Enden gemacht sind.

Zwei Cylinder A (Fig. 599) befinden sich, einer auf jeder Seite, vorn an der Lokomotive. Diese beiden Cylinder sind hier etwas geneigt, häufig aber liegen sie horizontal. In jedem der beiden Cylinder bewegt sich ein Kolben, auf welchen der Dampf bald auf der einen, bald auf der andern Seite wirkt. Es sind also eigentlich, wie bei den Dampfschiffen (§ 464), zwei doppelt wirkende Dampfmaschinen vorhanden. Die Stange B jedes Kolbens wird bei ihrer Bewegung durch zwei feststehende Schleifschienen *aa* geleitet. Diese Stange ist mittelst eines Gelenkes mit einer Bleuelstange C verbunden, welche einen Zapfen D ergreift, der an einem der Treibräder befestigt ist. Dieser Zapfen, der in einiger Entfernung vom Mittelpunkt des Rades liegt, wirkt wie eine Kurbel. Man begreift hieraus, dass durch die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens die Rotationsbewegung der Treibräder hervorgebracht wird. Die beiden Kurbeln, auf welche die beiden Kolben wirken, bilden ausserdem wie bei den Dampfschiffen (§. 464) und aus demselben Grunde wie dort einen rechten Winkel miteinander.

Die Vertheilung des Dampfes in den Cylindern geschieht mittelst Schiebern, gewöhnlich mittelst Clapeyron'schen Expansionsschiebern (§. 446), welche von Kreis-Excentriks bewegt werden, die an der Achse der Treibräder angebracht sind. Der Steuermechanismus ist theilweise in Fig. 600 sichtbar. Die Excentrik F gibt der Bleuelstange G eine hin- und hergehende Bewegung. Diese Bleuelstange endigt sich bei *b* in eine Gabel, Klaue genannt, welche das untere Ende eines Hebels H (Fig. 599) ergreift. Dieser Hebel, der um seine Mitte beweglich ist, erhält in Folge dieser seiner Verbindung mit der Excentrik eine oscillirende Bewegung und ertheilt auf diese Weise der Stange K des Schiebers, der in der Dampfkammer L enthalten ist, eine hin- und hergehende Bewegung.

Da sich eine Lokomotive eben so gut vor- als rückwärts bewegen können muss, so ist es nothwendig, dass es der Führer in seiner Gewalt hat, die Vertheilung des Dampfes so ändern zu können, dass sich die Maschine in dem einen oder in dem andern Sinne bewegt. Es ist leicht einzusehen, was zu diesem Zwecke erforderlich ist. Wenn einer der beiden Kolben sich inmitten seines Schubes befindet, so muss der Dampf auf seine vordere oder

auf seine hintere Fläche wirken, je nachdem sich die Lokomotive in dem einen oder in dem andern Sinne bewegt. In dem einen

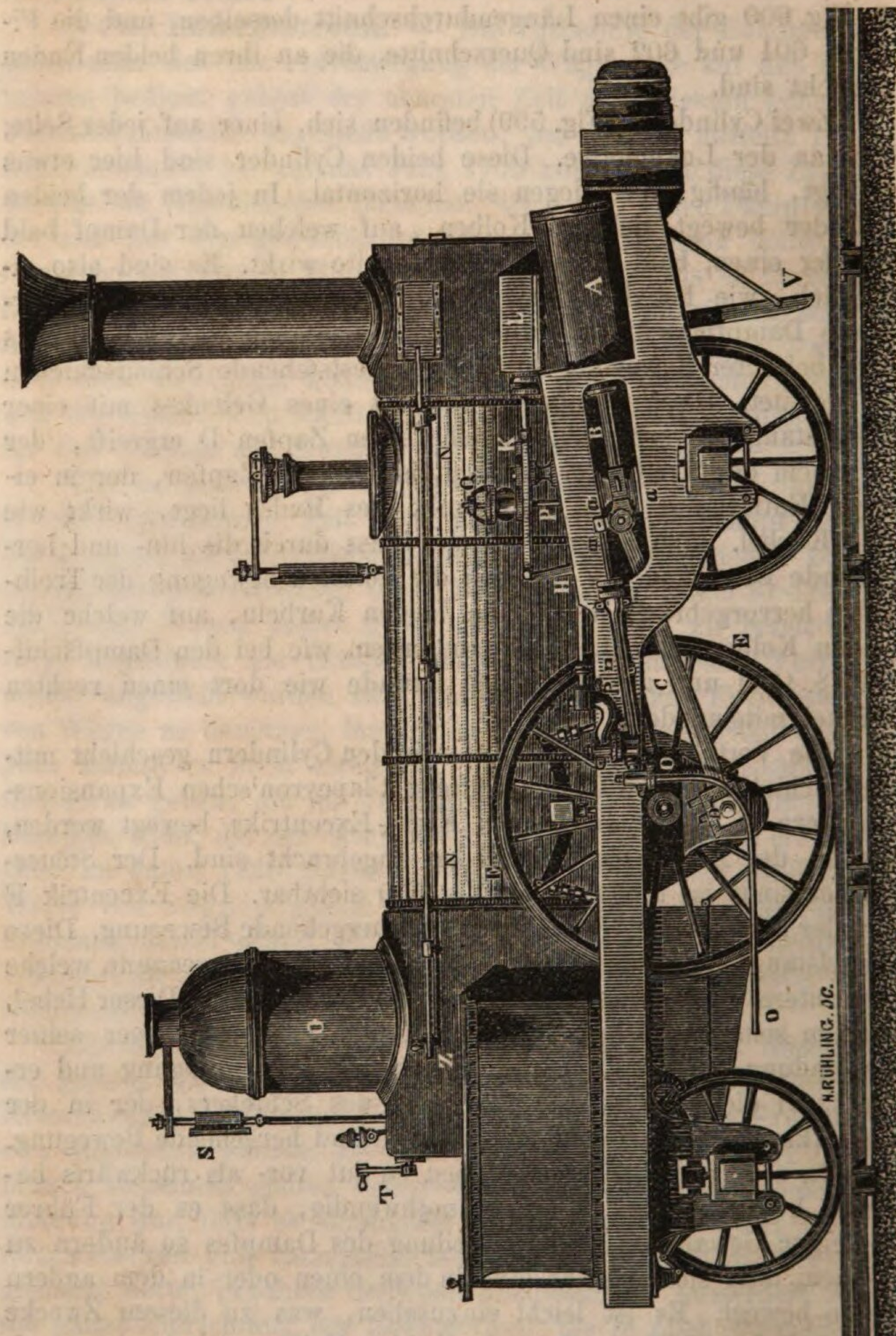


Fig. 599.

dieser beiden Fälle muss sich der Schieber an dem einen Ende

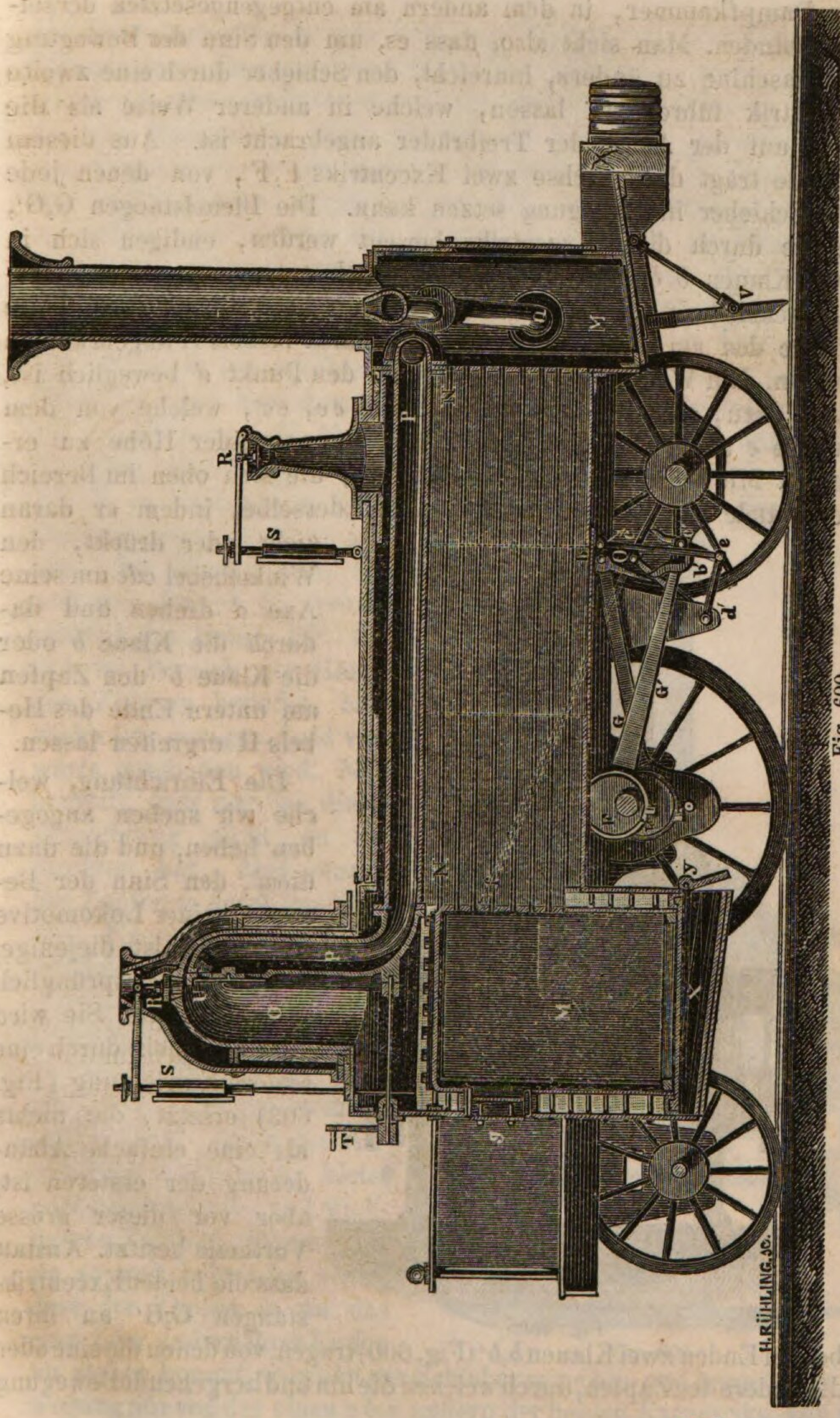


Fig. 600.

der Dampfkammer, in dem andern am entgegengesetzten derselben befinden. Man sieht also, dass es, um den Sinn der Bewegung der Maschine zu ändern, hinreicht, den Schieber durch eine zweite Excentrik führen zu lassen, welche in anderer Weise als die erste auf der Achse der Treibräder angebracht ist. Aus diesem Grunde trägt diese Achse zwei Excentriks F, F', von denen jede den Schieber in Bewegung setzen kann. Die Bleuelstangen G,G', welche durch diese Excentriks bewegt werden, endigen sich in zwei Klauen *b*, *b'*, deren Oeffnungen nach entgegengesetzter Richtung gekehrt sind; von denselben ergreift bald die eine, bald die andere den am untern Ende des vertikalen Hebels H angebrachten Zapfen. Ein Winkelhebel *cde*, der um den Punkt *d* beweglich ist, dient dazu, mittelst der beiden Stäbe *ec*, *ec'*, welche von dem Punkte *e* ausgehen, die Klauen *b*, *b'* in passender Höhe zu erhalten. Mit Hülfe einer langen Stange *f*, die sich oben im Bereich der Hände des Führers endigt, kann derselbe, indem er daran zieht oder drückt, den Winkelhebel *cde* um seine Axe *d* drehen und dadurch die Klaue *b* oder die Klaue *b'* den Zapfen am untern Ende des Hebels H ergreifen lassen.

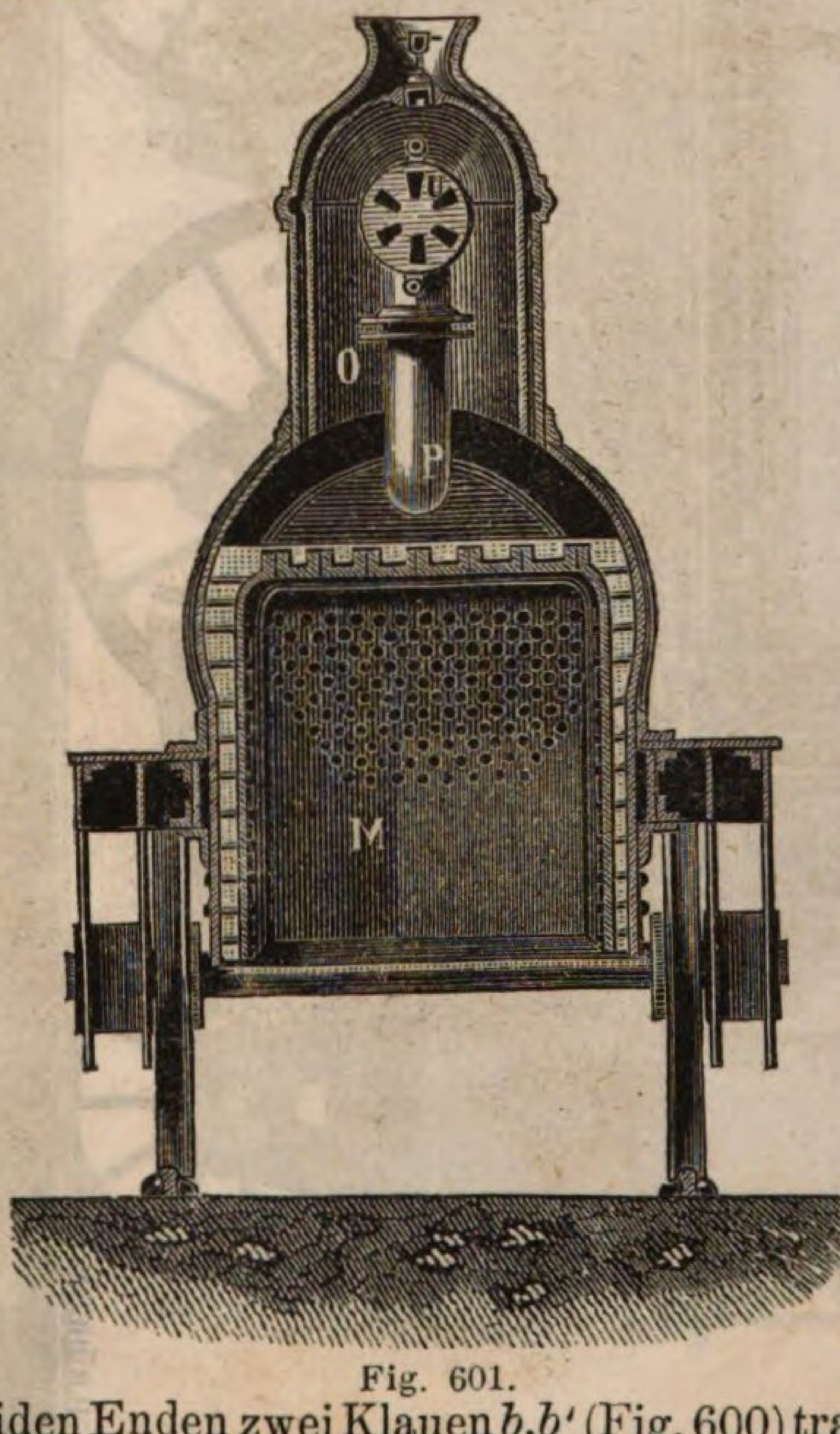


Fig. 601.

Die Einrichtung, welche wir soeben angegeben haben, und die dazu dient, den Sinn der Bewegung einer Lokomotive zu ändern, ist diejenige, welche man ursprünglich getroffen hatte. Sie wird jetzt allgemein durch eine andere Einrichtung (Fig. 603) ersetzt, die nichts als eine einfache Abänderung der ersteren ist, aber vor dieser grosse Vortheile besitzt. Anstatt dass die beiden Excentrikstangen G,G' an ihren beiden Enden zwei Klauen *b*,*b'* (Fig. 600) tragen, von denen die eine oder die andere den Zapfen, durch welchen die hin und hergehende Bewegung

auf den Schieber übertragen wird, ergreift, hat man die Enden dieser Stangen durch die sogenannte Coulisse b,b′ (Fig. 603), innerhalb welcher sich der Zapfen *m* befindet, so vereinigt, dass die Endpunkte der Coulisse um die Endpunkte jener Stangen in Gelenken beweglich sind. Die Coulisse ist so zu sagen nichts anderes als die Vereinigung der beiden Klauen, deren Spitzen sich, anstatt vorne auseinander zu gehen, um leichter den Zapfen *m* ergreifen zu können, im Gegentheil parallel bleiben und verlängern, sodass sie sich ohne Unterbrechung von dem Ende der einen Bleuelstange zu dem der andern erstrecken. Der Zapfen *m* befindet sich am Ende des um den Punkt H beweglichen Stückes FH und trägt auf diese Weise seine hin- und hergehende Bewegung auf die Bleuelstange K′ und die Schieberstange K über. Durch Heben oder Senken der Coulisse *bb′* wird dieser Zapfen bald mit der Excentrikstange G′, bald mit der G in Verbindung gebracht. Dieses Heben oder Senken der Coulisse geschieht aber mittelst des Winkelhebels *cde* und der Stange *ff*, welche mittelst des Hebels OP, der sich im Bereich der Hände des Führers befindet, bald rückwärts gezogen, bald vorwärts geschoben wird. Man begreift, dass man bei dieser Einrichtung nicht zu befürchten hat, dass einmal der Zapfen *m* durch das Ende der Excentrikstange, mit welcher man ihn in Verbindung setzen will, oder eigentlich durch die an diesem Ende befindliche Klaue nicht genügend oder gar nicht ergriffen wird. Aber die Anwendung der Coulisse bietet noch einen andern, viel wichtigeren Vortheil. Wenn man sie so weit hebt oder senkt, dass der Zapfen *m* an das eine oder andere ihrer Enden zu stehen kommt, so erhält der Schieber seine hin- und hergehende Bewegung nur von der einen oder andern der beiden Excentriks, von der-

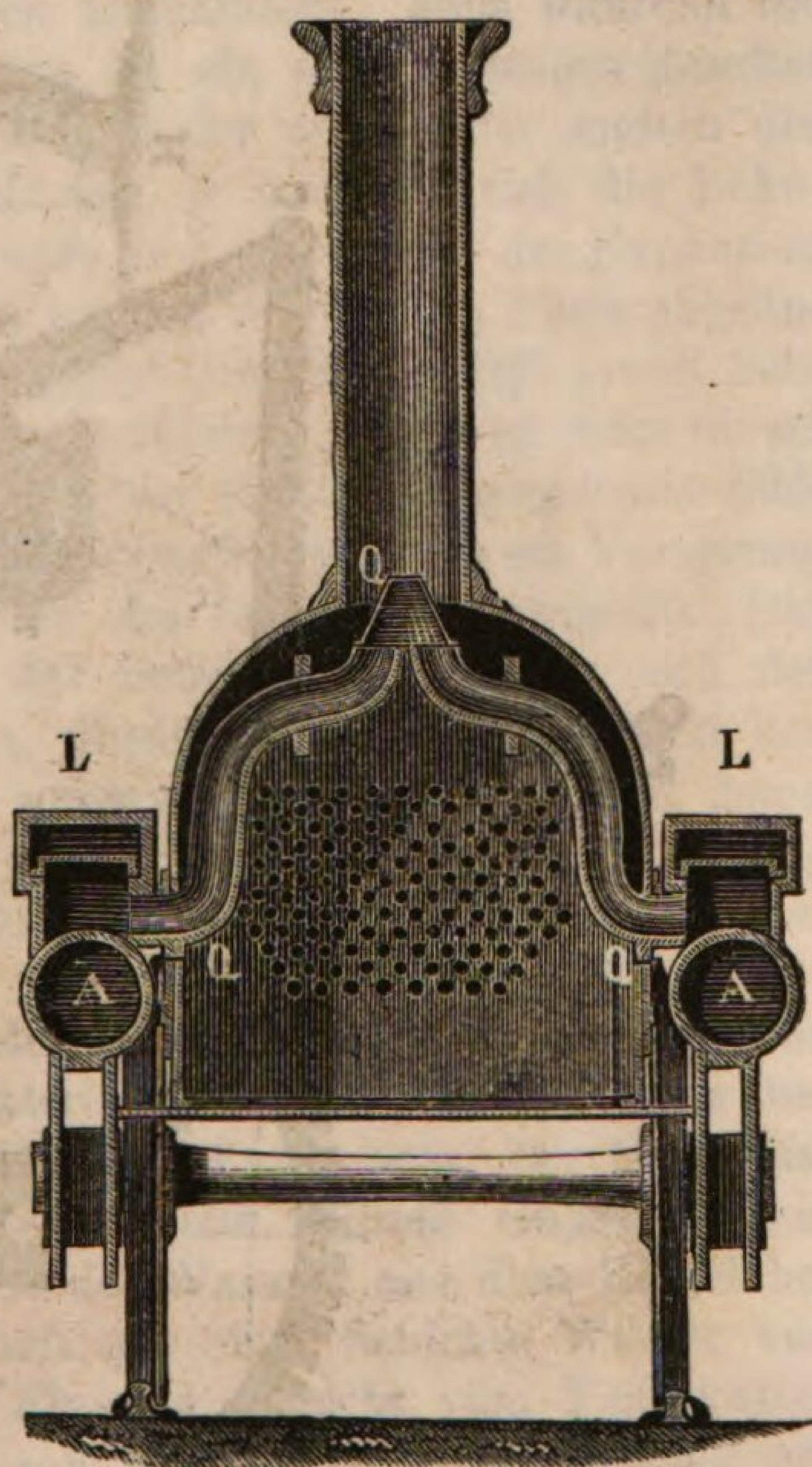


Fig. 602.

jenigen nämlich, deren Stange sich direkt im Zapfen *m* endigt; die zweite Excentrikstange bewegt sich, indem sie die Coulisse in Oscillationen versetzt, ohne dass dadurch irgend eine Einwirkung auf die Be-

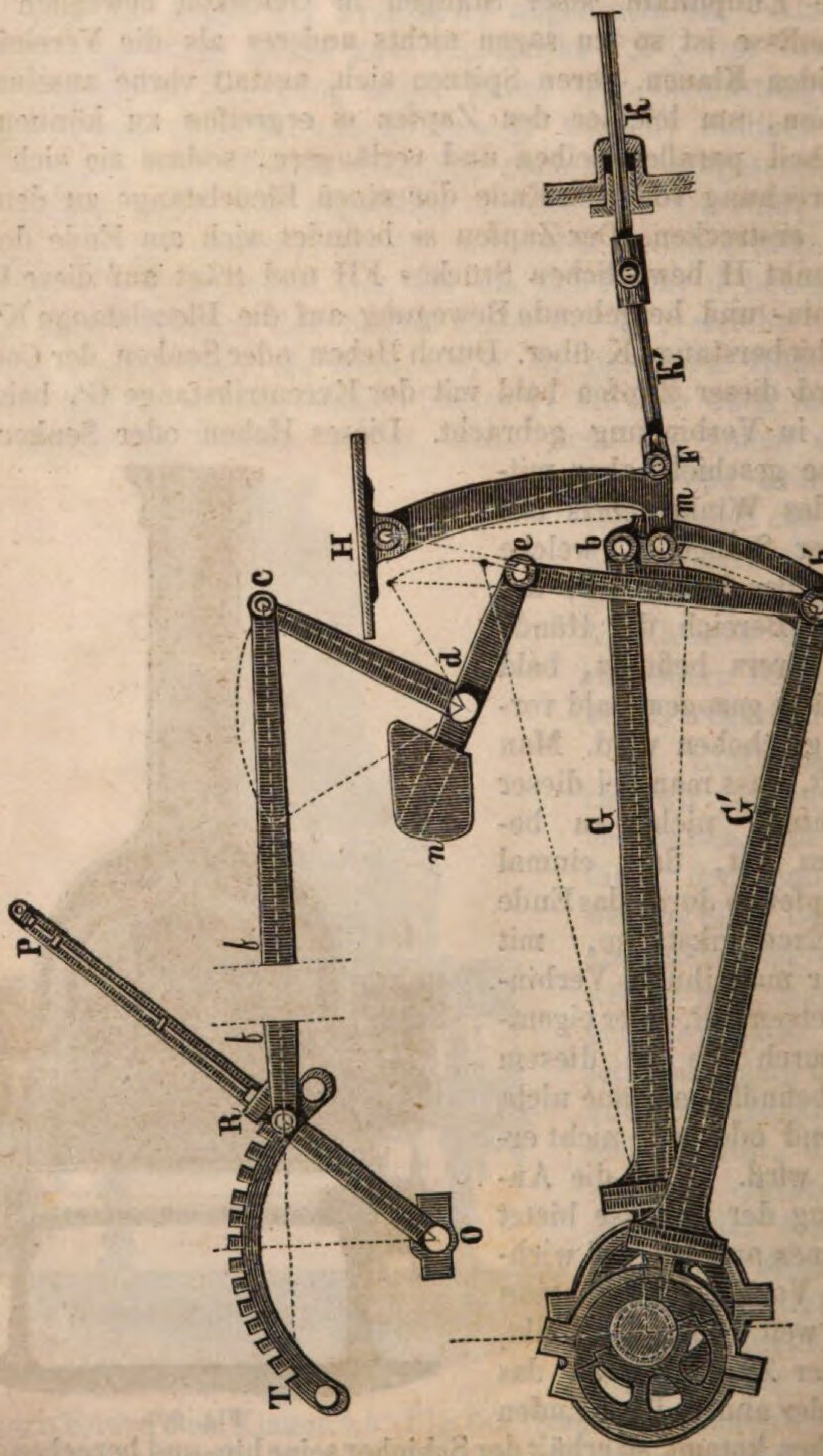


Fig. 603.

wegung des Schiebers hervorgebracht würde, der sich genau so bewegt, als wenn diese zweite Excentrikstange und die Coulisse

gar nicht vorhanden wären. Aber wenn man der Coulisse nicht ganz die eine der beiden äussersten Stellungen gibt, welche wir eben betrachtet haben, wenn man sie im Gegentheil in einer solchen Höhe hält, dass sich der Zapfen *m* in gewisser Entfernung von dem einen ihrer beiden Enden befindet, so erhält dieser Zapfen und mit ihm der Schieber eine hin- und hergehende Bewegung, welche nicht blos durch eine einzige der beiden Excentriks hervorgebracht wird; die Coulisse, indem sie unter der gleichzeitigen Wirkung der beiden Excentrikstangen G,G' oscillirt, ertheilt dem Zapfen *m* eine andere Bewegung, als wenn er sich unter der Wirkung einer einzigen dieser Excentrikstangen bewegen würde. Nun hat man erkannt, dass der Dampf auf diese Weise mit einem verschiedenen Grad von Expansion wirkt, je nachdem der Zapfen *m* in dieser oder jener Stellung in Bezug auf die Enden der Coulisse ist; die Anwendung dieser Coulisse gestattet also, die Expansion des Dampfes nach Belieben abzuändern, auch während die Maschine im Gang ist, und diess ist ein sehr wichtiges Resultat (§. 448). Der Zapfen *m* muss sich in der einen oder andern der beiden Hälften der Coulisse befinden, je nachdem sich die Lokomotive vor oder rückwärts bewegen soll. Der Grad der Expansion wird in dem einen wie in dem andern der beiden Fälle abgeändert, indem man die Coulisse mittelst des Hebels OP soweit hebt oder senkt, dass der Zapfen *m* verschiedene Lagen in jeder dieser beiden Hälften einnimmt. In jeder der ihr einmal gegebenen Stellungen wird die Coulisse dadurch festgehalten, dass ein Vorsprung des Hebels OP in eine der Kerben des Sektors TR eingreift. Das Gegengewicht *n* gehört dazu, das Gewicht der Coulisse und der Excentrikstangen zu balanciren, damit diese Stücke leicht in der gewünschten Höhe festgehalten werden können. Die Coulisse, deren Vortheile wir soeben kennen gelernt haben, ist eine Erfindung Stephenson's und heisst desshalb auch gewöhnlich die Stephenson'sche Coulisse.

M (Fig. 600 und 601) ist der Heizraum oder der Feuerkasten der Lokomotive. Das Brennmaterial, das meistens aus Koks besteht, wird durch eine kleine Thüre *g* eingebracht. Der Feuerkasten ist von allen Seiten durch doppelte Wände eingeschlossen, zwischen welchen sich ein Theil des Wassers aus dem Kessel befindet; sein Deckel ist gleichfalls mit einer Schichte Wasser von gewisser Höhe bedeckt. Die Flamme streicht vom Feuerkasten aus durch eine grosse Anzahl von Röhren, die nebeneinander angebracht sind und im Sinne der Längenrichtung der Lokomotive mitten durch den Kessel hindurch gehen. Zwischen diesen Röhren

befindet sich der grösste Theil des zu verdampfenden Wassers. Die Verbrennungsgase gelangen in einen, vor der Lokomotive gelegenen Raum M′, die Rauchkammer, und entweichen durch den Kamin, welcher sich über diesem Raume befindet.

Die Fig. 601, welche einen Querschnitt durch den Feuerkasten darstellt, zeigt die Enden jener Röhren, deren Anzahl 100—150 beträgt; ihr Durchmesser ist 4—5 Centimeter. In Folge dieser Einrichtung kann die Heizfläche eine Grösse von 50 Quadratmeter erreichen; und dadurch allein ist es möglich eine so grosse Menge Dampf zu erzeugen, wie sie zu einem schnellen Gang der Lokomotive erforderlich ist.

Der eigentliche Körper des Kessels besteht hauptsächlich aus einem horizontalen Cylinder NN (Fig. 599 und 600), innerhalb dessen die zahlreichen Röhren, von denen wir eben gesprochen haben, angebracht sind. Unmittelbar über dem Feuerkasten M befindet sich ein Dampfreservoir O. Eine weite Röhre PP, welche oben von diesem Reservoir ausgeht, durchdringt den Kessel seiner ganzen Länge nach und erstreckt sich bis an das vordere Ende der Lokomotive, wo sie sich in zwei Arme theilt, um den Dampf in die beiden Cylinder zu leiten. Wenn der Dampf aufgehört hat auf den Kolben zu wirken, so entweicht er durch zwei Röhren Q, deren Anordnung aus Fig. 602, welche ein Querdurchschnitt durch den vorderen Theil der Lokomotive ist, ersichtlich wird. Diese beiden Röhren vereinigen sich an ihren beiden Enden und münden unten in den Kamin; in Folge dessen bläst der Dampf, nachdem er die Cylinder verlassen hat, in der Richtung der Axe des Kamins aus und macht dadurch den Zug in diesem Kamin und in Folge dessen die Verbrennung im Feuerkasten lebhafter.

Auf dem Kessel sind zwei Sicherheitsventile R (Fig. 600) angebracht, die den Zweck haben zu verhindern, dass die Spannung des Dampfes die Grenze, für welche der Kessel construirt ist, überschreitet. Die Hebel, welche auf diese Ventile drücken sind nicht, wie bei den stehenden Maschinen, durch Gewichte belastet, weil die Erschütterungen, welche die Bewegung der Lokomotive stets begleiten, die Wirkung dieser Gewichte stören würde. Anstatt dessen ist das Ende jedes dieser Hebel einer Zugkraft ausgesetzt, welche durch eine, in der Büchse S enthaltene Spiralfeder hervorgebracht wird; die Grösse dieser Zugkraft kann dadurch regulirt werden, dass man eine Schraubenmutter, welche an dem von der Feder ausgehenden Stab angebracht ist und über dem Hebel des Ventils liegt, hinauf- oder hinabschraubt.

Die Kurbel T (Fig. 599 und 600), welche sich im Bereich der Hände des Führers befindet, dient dazu, die Mündung U der Röhre P zu öffnen und zu schliessen. Wenn die Lokomotive stillsteht, so reicht es hin diese Kurbel zu drehen, damit der Dampf, indem er in die Röhre P und in Folge dessen in die Cylinder eindringt, auf die Kolben drückt und die Maschine in Bewegung setzt. Wenn man die Wirkung des Dampfes beendigen will, so dreht man diese Kurbel in entgegengesetztem Sinne, und die Maschine setzt ihre Bewegung nur noch in Folge der bereits gewonnenen Geschwindigkeit fort; in diesem Falle bewegen sich die Kolben in Folge ihrer Verbindung mit den Treibrädern fortwährend in den Cylindern, aber sie üben auf den Gang der Lokomotive keine Wirkung als höchstens den Widerstand aus, der aus der Reibung entspringt, welche durch ihre Bewegung entwickelt wird.

Das Stück V, welches man vor der Lokomotive angebracht sieht (Fig. 599 und 600) dient dazu, die Schienen von Hindernissen zu räumen, welche sich zufällig darauf befinden können, und durch welche ein Entgleisen der Maschine hervorgebracht werden könnte. Dieses Stück trägt desshalb auch den Namen Schienenräumer.

Ein besonderer Wagen, Tender genannt, folgt unmittelbar der Lokomotive und dient ihr als Reservoir für Wasser und Brennmaterial. Aus diesem Tender wird das Wasser fortwährend durch die Speisepumpen der Maschine in den Kessel geschafft, um den Wasserstand in demselben in constanter Höhe zu erhalten. Jeder Treibkolben der Lokomotive bewegt eine Speisepumpe, deren Einrichtung aus Fig. 599 zu ersehen ist. Die Kolbenstange *m* dieser Pumpe ist mit dem Ende der Stange des Treibkolbens verbunden. Die hin- und hergehende Bewegung des letzteren Kolbens bringt also eine ähnliche Bewegung des ersteren in dem kleinen Pumpenstiefel *n* hervor. Das Wasser des Tenders wird auf diese Weise durch die Röhre *o* aufgesaugt und hierauf in die Röhre *p* gedrückt, welche es in den Kessel führt. In diesen beiden Röhren sind zu beiden Seiten des Pumpenstiefels *n* Ventile so angebracht, dass sie die Bewegung des Wassers in dem Sinne, welchen wir eben angegeben haben, gestatten, im entgegengesetzten aber verhindern.

§. 467. **Lokomobilen.** — Man nennt Lokomobile eine Dampfmaschine, welche dazu bestimmt ist, wie eine stehende Maschine zu wirken, die aber auf Räder gestellt wurde, mittelst deren sie leicht von einem Ort zum anderen geschafft werden kann. Der Gebrauch der Lokomobilen verbreitet sich seit einigen Jahren, besonders für gewisse landwirthschaftliche Arbeiten mehr und mehr.

Die Fig. 604 zeigt eine Maschine dieser Art, welche in den Werkstätten von Calla gebaut wurde.

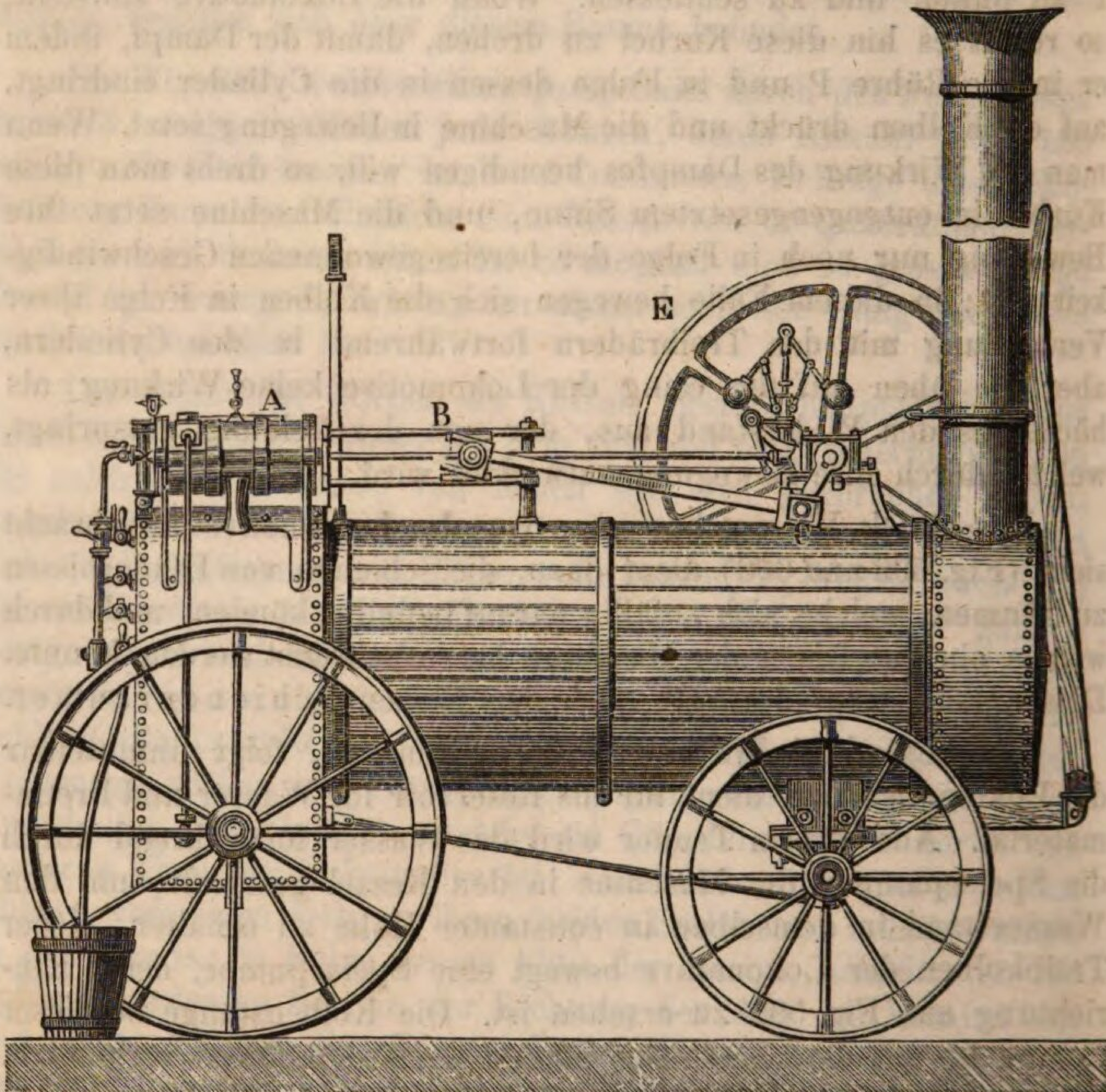


Fig. 604.

Damit die Maschine und ihr Kessel leicht von einem Ort zum anderen transportirt werden können, ist es nothwendig, dass sie möglichst wenig Raum einnehmen. Desshalb hat man, wie aus der Figur ersichtlich ist, dieselbe Einrichtung getroffen, wie bei den Lokomotiven. Eine Lokomobile unterscheidet sich daher von einer Lokomotive nur dadurch, dass die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens, welcher der Wirkung des Dampfes ausgesetzt ist, nicht zur Rotationsbewegung der Räder, welche die Maschine tragen, angewendet wird; der Cylinder, in welchem sich der Kolben bewegt, kann also eine andere Stellung erhalten. A ist dieser Cylinder; das Ende B der Kolbenstange ist mittelst eines Gelenkes mit einer Bleuelstange BC verbunden, und diese Bleuelstange ergreift den Zapfen einer Kurbel CD, die an einer horizontalen Welle D an-

gebracht ist. Die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens in dem Cylinder A bringt also eine drehende Bewegung der Welle D hervor. Ein Schwungrad E, das auf dieser Welle befestigt ist, dient zur Regulirung der Bewegung; über den Umfang dieses Schwungrads geht ein Riemen ohne Ende, mittelst dessen die Bewegung auf irgend eine andere Maschine übertragen werden kann.

Die Maschine ist mit zwei Deichseln versehen, welche man rechts in Fig. 604 sieht, wo sie in die Höhe gehoben und an den Kamin angelehnt sind. Wenn man die Lokomobile an einen anderen Ort transportiren will, so spannt man ein Pferd daran, welches sie wie einen gewöhnlichen Wagen fortzieht. Wenn sie aber auf diese Weise an die Stelle gebracht ist, wo man sich ihrer bedienen will, so muss man die Räder gut festmachen, damit sie sich während des Ganges der Maschine nicht bewegen können.

§. 468. **Giffard's Dampfstrahlpumpe.** — Aehnlich wie in dem Wassertrommelgebläse (§. 418) das Wasser, so kann auch der Dampf dazu benützt werden, direkt eine Nutzarbeit zu leisten, ohne dass seine Wirkung erst durch Vermittlung einer Kraftmaschine übertragen werden müsste. Diese Idee liegt der Giffard'schen Dampfstrahlpumpe zu Grunde, die namentlich dazu benützt wird, die Kessel von Dampfmaschinen mit dem nöthigen Wasser zu speisen. Die Fig. 605 stellt diesen Apparat dar, welcher nach Dem, was wir oben (§. 366) unter Pumpen verstanden wissen wollten, eigentlich mit Unrecht den Namen Pumpe führt. Die Röhre A führt den Dampf aus dem Dampfkessel unter dem in letzterem herrschenden Drucke nach der in Rede stehenden Vorrichtung. Aus der Röhre A gelangt der Dampf zunächst durch eine Anzahl von Löchern in die Röhre BC, aus welcher er an dem Ende C, wo sie in ein konisches Mundstück zuläuft, in die Kammer D ausströmt. Durch dieses Ausströmen wird das Speisewasser in der Saugröhre F, die gleichfalls in die Kammer D mündet, aufgesaugt, und indem der Dampf mit diesem kalten Wasser in Berührung tritt, wird er condensirt. Das aus dieser Condensation hervorgehende, sowie auch das aufgesaugte Wasser treten nun mit grosser Geschwindigkeit durch das Mundstück E aus, und der so gebildete Strahl wird durch ein zweites Mundstück R aufgefangen, von welchem aus das gesammte Wasser über K durch die Röhre L in den Kessel oder überhaupt in den Raum gelangt, in welchen es gefördert werden soll. Das Ventil V hat den Zweck, den Rücktritt des Wassers aus dem Kessel zu verhüten. Das überschüssige Wasser, welches nicht von dem Mundstück R aufgefangen wird, sammelt sich in der Kammer G und fliesst von da durch die Röhre S ab.

Durch Umdrehung der Kurbel M kann der Dorn N hinauf oder herabgeschraubt und dadurch der Dampfzufluss in die Kammer D

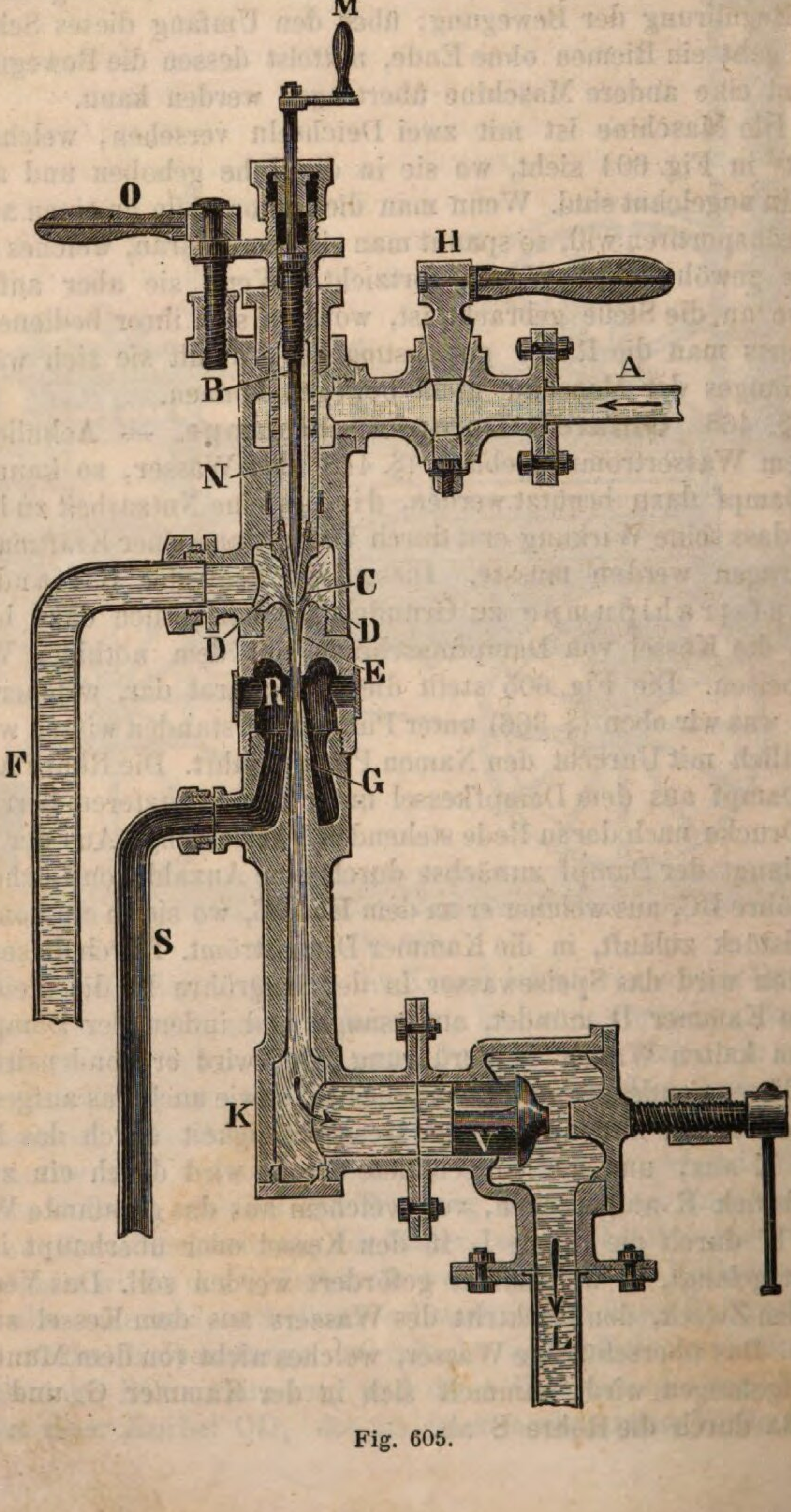


Fig. 605.

regulirt werden. Mittelst der Kurbel O kann man die ganze Röhre BC heben und senken und dadurch die Menge des aus der Röhre F gesaugten Speisewassers vergrössern oder verkleinern. Mittelst des Hahnes H kann der Dampf ganz abgesperrt werden. Um den Apparat in Gang zu bringen, lüftet man, nachdem man den Wasserregulator BC in die gehörige Stellung gebracht hat, den Dorn N etwas, sodass ein schwacher Dampfstrahl entweicht, welcher, die Luft mit sich fortreissend, einen luftverdünnten Raum über dem Wasserspiegel in der Röhre F erzeugt und somit das Saugen veranlasst. Sobald das gesaugte Wasser bis zur Dampfmündung C gestiegen ist, wird letztere durch rasches Umdrehen der Kurbel M gänzlich frei gemacht und nun ferner unberührt gelassen. Bei gutem Gange soll beim Ausfluss aus der Mündung E weder Wasser seitwärts spritzen und unten bei S ablaufen, noch soll Dampf den freien Strahl umwölken. Man beobachtet die Beschaffenheit des Strahls durch Durchsichten, welche man in der Kammer G oben angebracht sieht. Da der aus der Mündung C strömende Dampf immer vollständig condensirt werden muss, so hängt die richtige Stellung des Wasserregulators von dem Drucke und von der Menge des bei C ausströmenden Dampfes ab; es müssen also der Wasserregulator BC sowohl, als der Dorn N mittelst der Kurbeln O und M solche Stellungen erhalten, dass der bei E ausfliessende Wasserstrahl die oben angegebene Beschaffenheit hat.

Es leuchtet sogleich ein, dass ein Hauptvorzug des beschriebenen Apparats darin bestehen muss, dass die gesammte Wärme des zu seinem Betrieb verwendeten Dampfes, die gebundene sowohl wie die freie, vollständig ausgenützt wird, indem sie die Temperatur des durch den Apparat gelieferten Wassers erhöht. Natürlich aber kommt dieser Vortheil nur da in Betracht, wo dieses Wasser eine höhere Temperatur erhalten soll, wie diess in der That der Fall ist, wenn der Apparat als Speisevorrichtung für Dampfkessel benützt wird. Wo es dagegen gleichgültig ist, welche Temperatur das durch den Apparat geförderte Wasser hat, da ist der Nutzeffekt der Giffard'schen Dampfstrahlpumpe nur ein sehr geringer und eine andere gewöhnliche Pumpe bei weitem vorzuziehen. Ferner ist klar, dass die Wirksamkeit des Apparats wesentlich von der Temperatur des durch die Röhre F eingesaugten Wassers abhängig ist. Je niedriger diese Temperatur ist, desto rascher erfolgt die Condensation des Dampfes in der Kammer D, und desto wirksamer muss also der Apparat sein. Daraus ist zu erklären, dass man an solchen Dampfkesseln, für welche kaltes Wasser zum Speisen verwendet wird, gute Resultate mit der Giffard'schen Speisevorrichtung

erhalten hat, geringe dagegen nur an Dampfkesseln, die mit Vorwärmern versehen sind, bei denen also das Wasser schon mit ziemlich hoher Temperatur in den Apparat kommt. Derselben Ursache ist es zuzuschreiben, dass man bei der Anwendung der Dampfstrahlpumpe als Speisevorrichtung für Lokomotivkessel in Oesterreich sehr günstige Resultate erhielt, während die auf bayerischen Bahnen gemachten Erfahrungen sehr ungünstig ausgefallen sind. In Bayern benützt man den überschüssigen Dampf zum Vorwärmen des Speisewassers im Tender, was bei den österreichischen Lokomotiven nicht geschieht.

Anwendung der Elektricität als bewegende Kraft.

§. 469. Die Elektricität wird erst seit einer kleinen Reihe von Jahren als bewegende Kraft angewandt. Der Gebrauch der Maschinen, welche man zu diesem Behufe erfunden hat, ist noch ausserordentlich beschränkt; aber wir müssen nichtsdestoweniger das Princip, auf welches sie gegründet sind, kennen lernen, sowohl desshalb, weil sie eine sehr sinnreiche Anwendung der Fortschritte der Wissenschaften zeigen, als auch weil diese Art von Maschinen möglicherweise doch noch dazu bestimmt ist, künftig einen wichtigen Platz unter den Motoren, deren man sich in der Industrie bedient, einzunehmen.

Wir müssen uns natürlich zunächst mit dem Mittel beschäftigen, dessen man sich bedient, um mittelst der Elektricität eine bewegende Kraft zu entwickeln.

§. 470. **Elektromagnete.** — Denken wir uns ein Stück weiches Eisen, das z. B. die Form eines Cylinders hat, und um welches in einer grossen Anzahl von Windungen ein mit Seide umsponnener Metalldraht, gewöhnlich Kupferdraht, gewickelt ist. Wenn man durch diesen Draht einen, mittelst einer galvanischen Kette hervorgebrachten elektrischen Strom leitet, so wird der Cylinder von weichem Eisen sofort in einen Magneten verwandelt. Dieser Magnetismus verschwindet aber in dem Moment wieder, wo man den elektrischen Strom unterbricht.

Man kann das Stück Eisen auch krümmen, um ihm die Form eines Hufeisens, wie man es in Fig. 606 sieht, zu geben. Wenn der elektrische Strom hergestellt ist, so liegen die beiden Pole des durch ihn erzeugten Magneten nebeneinander; man kann desshalb ein zweites Stück Eisen B, Anker genannt, an beide zugleich anlegen; dieser Anker wird sammt dem an ihm hängenden Ge-

wichte von dem Magneten, den wir als hinreichend stark voraussetzen, getragen. Wenn man den elektrischen Strom unterbricht, so verschwindet die Kraft, durch welche der Anker B getragen wird, und derselbe fällt folglich herab.

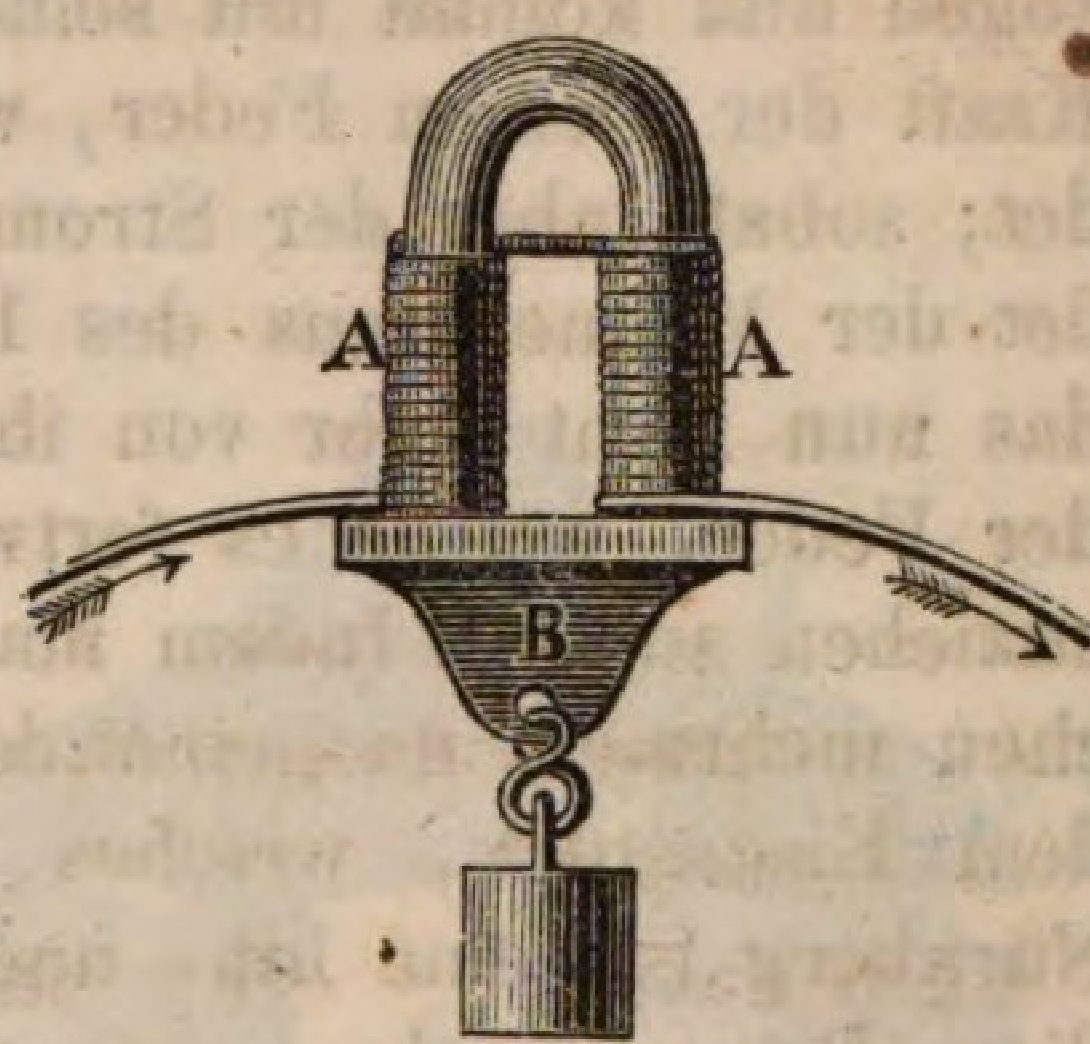


Fig. 606.

Ein Stück weiches Eisen, das sich so, wie wir eben beschrieben haben, inmitten der Windungen eines mit Seide umsponnenen Kupferdrahtes befindet, nennt man einen Elektromagneten. Anstatt aus einem, in Form eines Hufeisens gebogenen Cylinder werden die Elektromagnete auch häufig aus zwei geraden Eisencylindern gebildet, die nebeneinander gestellt und an dem einen Paar ihrer Enden durch ein Querstück, ebenfalls von weichem Eisen, das an ihnen befestigt ist, vereinigt sind.

§. 471. **Elektrische Telegraphen.** — Die in ihrer jetzigen Gestalt ganz der neuesten Zeit angehörige Erfindung der elektrischen Telegraphen, die von so ausserordentlichem Einfluss auf die Gestaltung der socialen Verhältnisse der civilisirten Welt ist, gründet sich auf die Eigenschaft des Elektromagneten, mit ausserordentlicher Schnelligkeit Magnetismus anzunehmen und wieder zu verlieren, je nachdem man den elektrischen Strom schliesst oder unterbricht, und zwar selbst dann noch, wenn die Länge des Drahts, durch welchen dieser Strom geht, eine sehr bedeutende ist. Es ist leicht begreiflich, wie man diese Eigenschaft benützen kann, um fast momentan auf sehr grosse Entfernungen hin verschiedene Zeichen zu senden.

Denken wir uns, dass in München z. B. eine galvanische Kette aufgestellt sei, und dass von dem positiven Pol dieser Kette ein Metalldraht ausgehe, der isolirt bis nach Nürnberg läuft; an diesem Orte wickle sich der Drath um ein, in Form eines Hufeisens gebogenes Stück weichen Eisens, sodass ein Electromagnet gebildet wird, und kehre endlich wieder nach München zum negativen Pole der Batterie zurück. Wenn man den Strom in München abwechselnd schliesst und wieder unterbricht, so wird fast zu gleicher Zeit der Elektromagnet in Nürnberg magnetisirt und wieder entmagnetisirt. Setzen wir ferner voraus, dass man nahe den Polen dieses Elektromagneten ein Stück weiches Eisen angebracht habe, welches in der Weise beweglich ist, dass es mit diesen Polen in Berührung treten kann, für gewöhnlich aber durch eine schwache Feder davon entfernt gehalten wird. In dem Moment,

wo man den elektrischen Strom in München schliesst, wird dieses weiche Eisenstück in Nürnberg von dem Elektromagneten angezogen und kommt mit seinen Polen in Berührung, indem es die Kraft der kleinen Feder, welche es zurückgehalten hat, überwindet; sobald aber der Strom wieder unterbrochen wird, verschwindet der Magnetismus des Elektromagneten, und das Eisenstück, das nun nicht mehr von ihm angezogen wird, folgt der Wirkung der Feder, welche es fortwährend von dem Elektromagneten abzuziehen sucht. Indem man auf diese Weise den Strom in München mehrmals nacheinander schliesst und wieder öffnet, kann man dem Eisenstück, welches in der Nähe des Elektromagneten in Nürnberg ist, eine hin- und hergehende Bewegung ertheilen, und diese Bewegung kann man offenbar dazu benützen, um beliebige Zeichen hervorzubringen. Diess ist das Princip der elektrischen Telegraphen.

Aus dem Vorhergehenden geht hervor, dass die beiden Stationen, von denen die eine eine telegraphische Nachricht von der anderen empfangen soll, durch zwei Drähte mit einander verbunden sein müssen. Bei Versuchen, welche Steinheil auf der Nürnberg-Fürther Eisenbahn angestellt hat, ergab sich, dass das Erdreich selbst sich als Leiter für den galvanischen Strom benützen lasse. Es reicht hin, an beiden Stationen zwei Platten, gewöhnlich von Kupfer, in das feuchte Erdreich zu versenken, um eine leitende Verbindung für den galvanischen Strom zwischen diesen Stationen herzustellen. Der andere Draht muss aber dann natürlich von der Erde isolirt sein. Man leitet ihn desshalb über Stangen, die im Boden befestiget und an ihren Spitzen mit kleinen isolirenden Glocken aus Porzellan versehen sind, über welche der Draht gelegt ist.

Man hat für den Apparat, mittelst dessen an der Station, welche eine Nachricht empfangen soll, die Zeichen gegeben werden, die verschiedensten Formen erdacht. Einmal wird durch die hin- und hergehende Bewegung des Ankers des Elektromagneten ein Zeiger in Bewegung gesetzt, der sich über einem mit Buchstaben beschriebenen Zifferblatt befindet und an beliebigen Stellen desselben arretirt werden kann. Am praktischsten von allen hat sich aber der Schreib- oder Drucktelegraph des Amerikaners Morse bewährt. Dieser Apparat ist nun in fast ganz Deutschland, der Schweiz und in Nordamerika eingeführt, und es ist kaum zu zweifeln, dass sein Princip in kurzer Zeit alle anderen verdrängen wird.

Die Fig. 607 stellt den Morse'schen Schreibapparat in $\frac{1}{3}$ der natürlichen Grösse dar. AA ist der Elektromagnet, zwei mit Draht

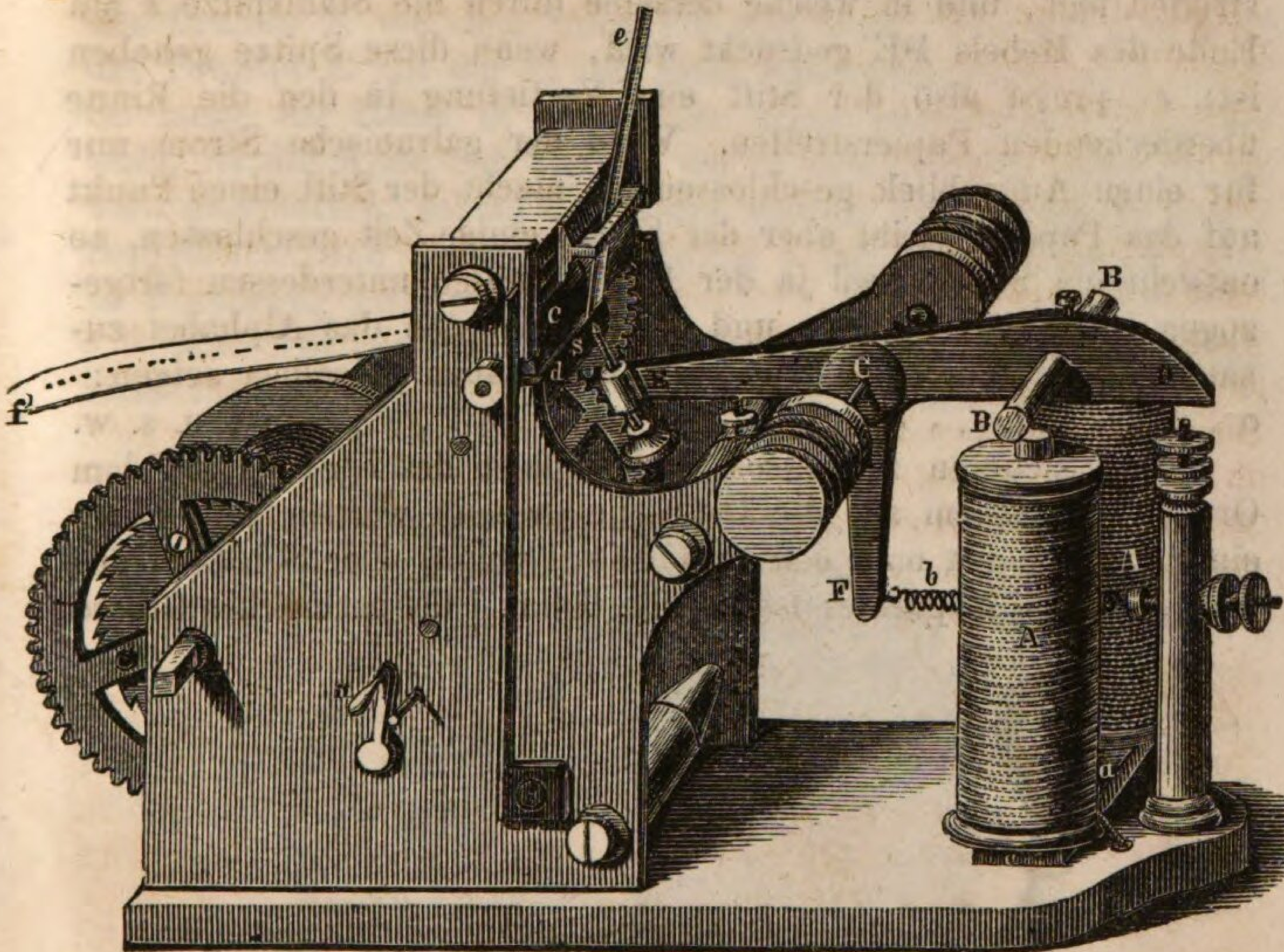


Fig. 607.

umwickelte Cylinder von weichem Eisen, die an dem einen Paar ihrer Enden durch das weiche Eisenstück *aa* bleibend verbunden sind. In der Nähe der Pole des Elektromagneten befindet sich das weiche Eisenstück, der Anker BB, der durch den Messinghebel DE gesteckt ist und sich durch Drehung dieses Hebels um seine Axe C jenen Polen nähern und mit denselben in Berührung setzen kann. Wenn aber der Strom unterbrochen ist, so wird der Anker mittelst der Feder *b*, die an einem dritten Arm CF des Messinghebels wirkt, von den Polen des Elektromagneten entfernt gehalten. An dem linken Ende E des Messinghebels ist ein Stahlstift *s* befestigt; dieser Stahlstift wird in die Höhe gehoben, wenn an dem Orte, von welchem man die telegraphische Depesche abschickt, der Strom geschlossen wird; er bleibt dagegen gesenkt, so lange der Strom unterbrochen ist. Zwei Walzen *c,d* werden durch ein auf der linken Seite der Figur zum Theil sichtbares Uhrwerk, das mittelst des Hebels *n* aus- und eingelöst werden kann, so bewegt, dass sie den Papierstreifen *ef*, der sich auf der einen Seite von einer Rolle abwickelt, in langsamer Bewegung

zwischen sich hindurch führen. Auf der oberen dieser Walzen ist eine seichte Rinne eingegraben, über welche sich der Papierstreifen legt, und in welche derselbe durch die Stahlspitze *s* am Ende des Hebels DE gedrückt wird, wenn diese Spitze gehoben ist; es presst also der Stift eine Vertiefung in den die Rinne überdeckenden Papierstreifen. Wird der galvanische Strom nur für einen Augenblick geschlossen, so macht der Stift einen Punkt auf das Papier; bleibt aber der Strom einige Zeit geschlossen, so entsteht ein Strich, weil ja der Papierstreifen unterdessen fortgezogen wird. Aus Punkten und Strichen ist nun das Alphabet zusammengesetzt, wie folgende erste Buchstaben desselben zeigen: *a* . — , *b* — . . . , *c* — . — . , *d* — . . , *e* . , *f* . . — . , u. s. w.

Zum sicheren Schliessen und Oeffnen des Stromes an dem Ort, von welchem aus die Depesche gesandt werden soll, dient ein Apparat, den man den Schlüssel nennt. Der Schlüssel des Morse'schen Apparates ist in Fig. 608 in $\frac{1}{4}$ der natürlichen Grösse

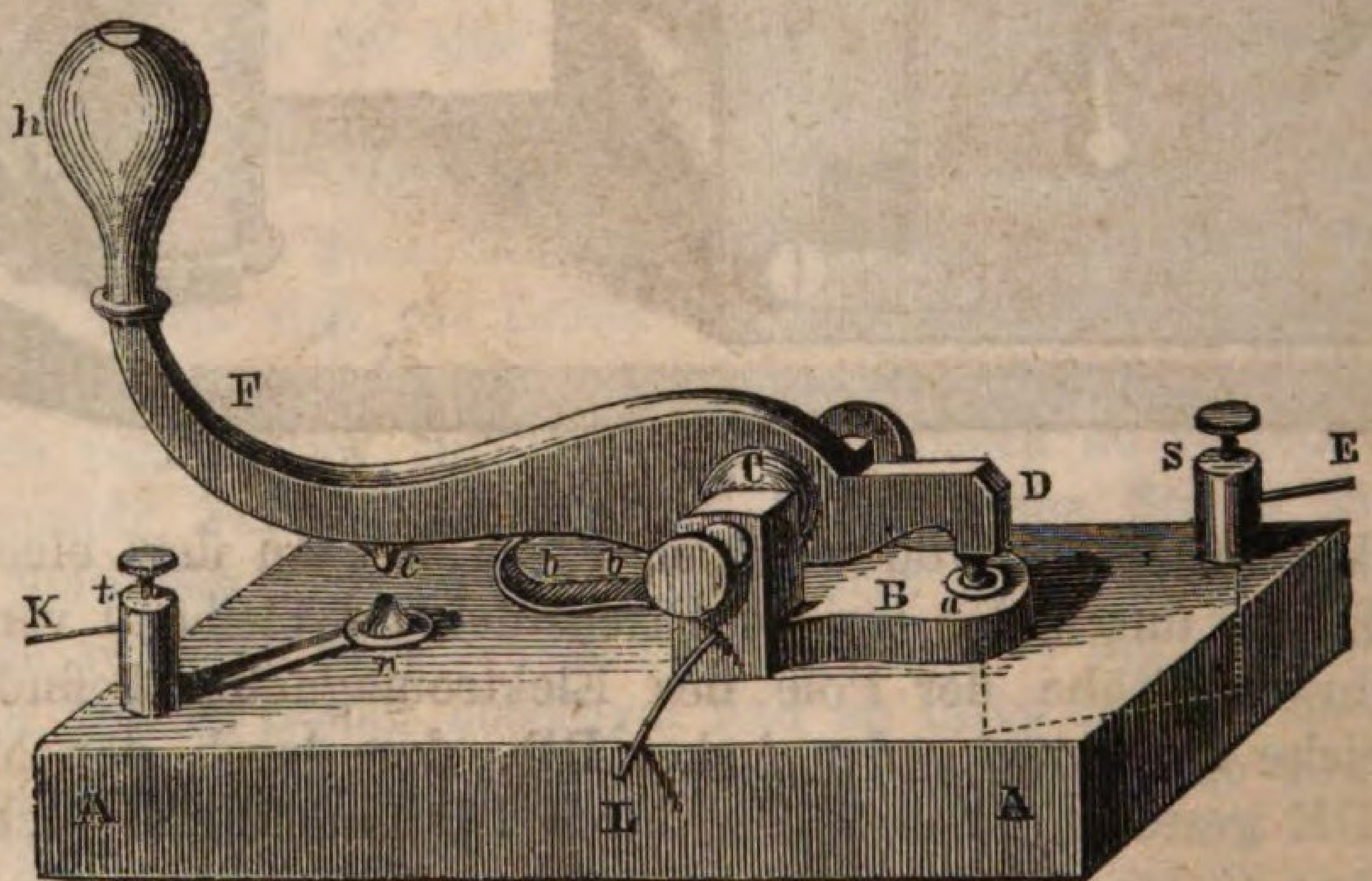


Fig. 608.

abgebildet. Auf einem Brettchen A A ist eine Messingplatte B befestigt, von welcher sich zwei Ständer erheben, welche die Axe C, um welche sich der Messinghebel DCF drehen kann, tragen. Dieser Hebel wird durch eine Feder *bb* an seinem linken Arme gehoben und dadurch die am Ende D desselben befindliche Spitze gegen ein Messingstück *a* gedrückt, das von der Platte B isolirt ist, dagegen mit der Klemme S in leitender Verbindung steht. Die an dem anderen Arm des Messinghebels angebrachte Spitze *c* steht in der Ruhelage des Hebels ausser Berührung mit dem Messingkegel *n*, der durch einen Blechstreifen mit der Klemme *t* leitend verbunden ist. Die Messingplatte B und somit der ganze Hebel

DCF steht mit dem Leitungsdraht L, welcher zu der nächsten Station führt, in Verbindung. Das Messingsäulchen *t* ist mittelst des Drahtes K mit dem einen Pol der Kette, und das *s* mittelst des Drahtes E mit der in die Erde versenkten Platte verbunden. So lange der Hebel in der in der Figur gezeichneten Ruhelage steht, ist die Kette der Station, wo er sich befindet, geöffnet; sie wird geschlossen, sobald der Hebel mittelst des Handgriffs *h* niedergedrückt und dadurch die Spitze *c* mit dem Messingkegel *n* in Berührung gebracht wird.

Man will gewöhnlich nicht blos von einem Orte A nach einem Orte B, sondern auch von der Station B nach der Station A

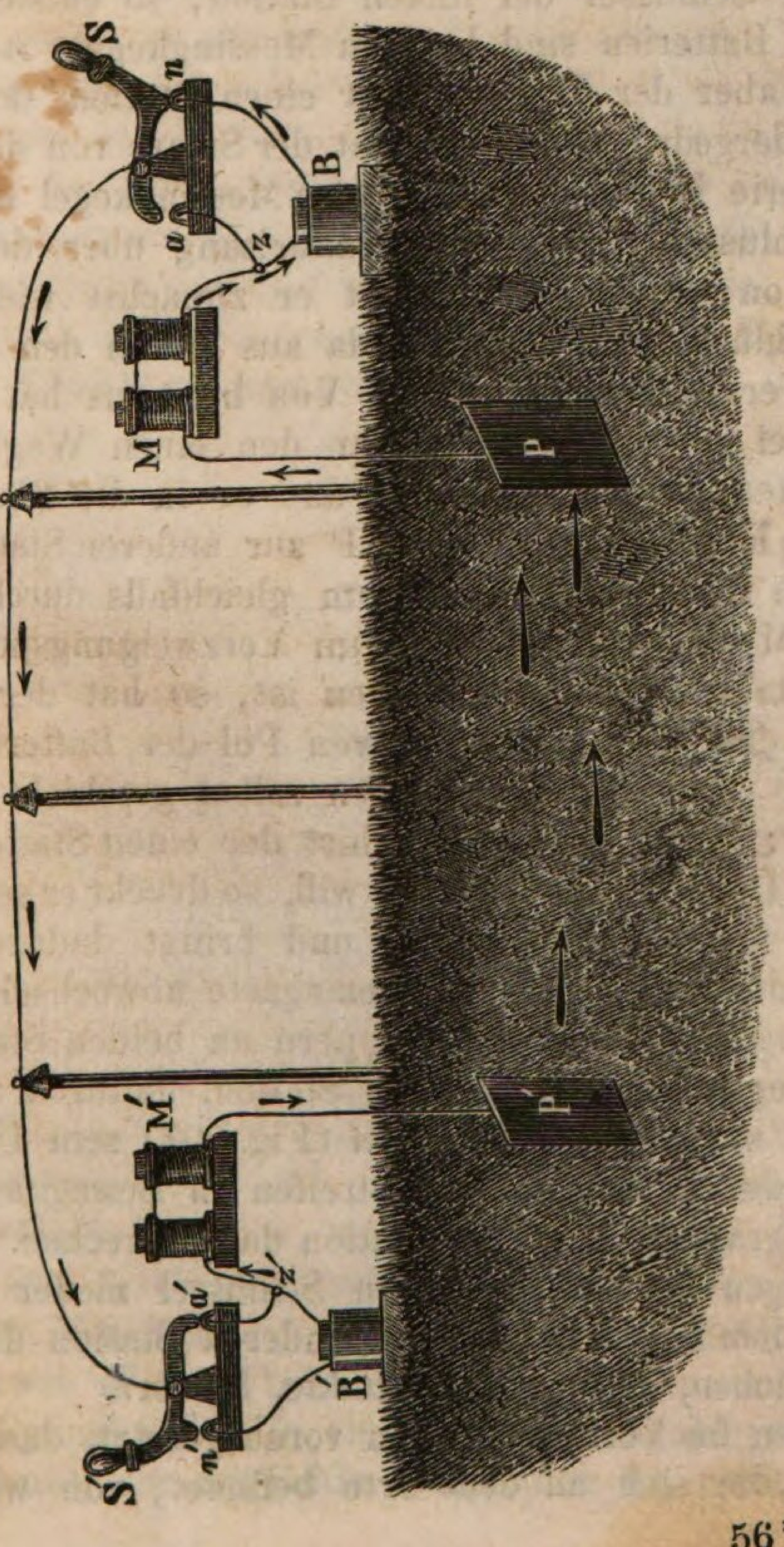


Fig. 609.

telegraphiren können. Zu diesem Behufe befindet sich auf jeder dieser Stationen eine Batterie, ein Schreibapparat und ein Schlüssel, und diese einzelnen Theile sind auf zweckmässige Weise so miteinander verbunden, dass nur ein Leitungsdraht zwischen beiden Stationen erforderlich ist. Die Fig. 609 stellt zwei so miteinander verbundene Stationen dar. B und B' sind die beiden Batterien, S und S' die Schlüssel, M und M' die Elektromagnete mit den Schreibapparaten und P und P' die in die Erde versenkten Platten zur Herstellung der Erdleitung. Die Art der Verbindung dieser Stücke ist aus der Figur deutlich genug ersichtlich.

Wenn sich beide Schlüssel in der Ruhelage befinden, wie in der Figur der Schlüssel der linken Station, so entsteht gar kein Strom; beide Batterien sind bei den Messingkegeln *n* und *n'* geöffnet. Wenn aber der Schlüssel der einen Station, der zur Rechten z. B., niedergedrückt ist, so geht der Strom von dem positiven Pol der Batterie B dieser Station zum Messingkegel *n*, durch den Hebel des Schlüssels S und die Drahtleitung über der Erde zur anderen Station; dortselbst gelangt er zunächst wieder in den Hebel des Schlüssels S' und von da aus durch den Contakt bei *a'* bis zum Verzweigungspunkt *z'*. Von hier aus hat er, da die Batterie B' bei *n'* geöffnet ist, nur den einen Weg durch den Elektromagneten M', von welchem aus er in die Platte P' geht, um durch die Erde und die Platte P zur anderen Station zurückzukehren. An dieser geht der Strom gleichfalls durch den Elektromagneten M und von diesem zum Verzweigungspunkte *z*; da aber der Contakt bei *a* unterbrochen ist, so hat der Strom von hier aus nur den Weg zum negativen Pol der Batterie B, wo er sich schliesst. — Das Telegraphiren selbst geschieht nun in folgender Weise: Wenn der Telegraphist der einen Station, etwa der rechten, eine Depesche abschicken will, so drückt er seinen Schlüssel mehrmals nacheinander nieder und bringt dadurch in Folge dessen, dass die Anker der Elektromagnete abwechselnd an- und wieder abgezogen werden, ein Klappern an beiden Stationen hervor. Der Telegraphist der anderen Station, dadurch aufmerksam gemacht, löst mittelst des Hebels *n* (Fig. 607) sein Uhrwerk aus und setzt dadurch seinen Papierstreifen in Bewegung. Nun beginnt der Telegraphist der ersten Station das „Sprechen.“ Er drückt in den gehörigen Intervallen seinen Schlüssel nieder und bringt dadurch auf dem Papierstreifen der anderen Station die oben angegebenen Zeichen, Striche und Punkte, hervor.

Wir haben im Vorhergehenden vorausgesetzt, dass der Strom der Batterie ,die sich an dem Orte befindet, von welchem aus

telegraphirt wird, den Schreibapparat der anderen Station in Bewegung setzt. Wenn aber beide Stationen weit von einander entfernt sind und also die zwischenbefindliche Drahtleitung sehr lang ist, so wäre eine übermässig starke Batterie an der ersten Station erforderlich, um den Schreibapparat der andern Station in Bewegung zu setzen; denn ausserdem würde der Schreibhebel nicht mit erforderlicher Kraft vom Elektromagneten angezogen, der Stahlstift nicht mit hinlänglicher Kraft gegen das Papier gedrückt, und die Zeichen würden undeutlich werden. Um daher mit mässig starken Batterien auf bedeutende Entfernungen telegraphiren zu können, hat man folgende sinnreiche Einrichtung getroffen. Der Strom der Batterie an der Station, wo die Nachricht abgesendet werden soll, setzt an der andern Station zunächst blos den ausserordentlich leicht beweglichen Anker eines Apparates in Bewegung, den man das Relais nennt. Durch die Bewegung dieses Ankers wird der Strom einer Batterie, die sich an der, die Depesche empfangenden Station befindet und desshalb Lokalbatterie heisst, abwechselnd geöffnet und geschlossen, und dieser Strom ist es, der den Schreibapparat dieser Station in Bewegung setzt.

§. 472. **Elektromagnetische Maschine.** — Die Anziehung, welche von einem Elektromagneten auf ein in seiner Nähe befindliches Stück weiches Eisen ausgeübt wird, kann benützt werden, um verschiedene Mechanismen zu bewegen und dabei zu gleicher Zeit Widerstände zu überwinden, die an denselben angebracht sind. Zu diesem Behufe ist es nothwendig, dass eine besondere Maschine zunächst die Wirkung des Elektromagneten empfängt, ebenso wie die Dampfmaschine die Wirkung des Dampfes aufnimmt, um sie hierauf auf die verschiedenen Arbeitsmaschinen, die zur Erzeugung gewisser Nutzarbeiten bestimmt sind, zu übertragen. Diese besondere Maschine, welche keinen anderen Zweck als den hat, als Mittelglied zwischen dem Elektromagneten und den Mechanismen, welche derselbe zu bewegen hat, zu dienen, nennt man kurz elektromagnetische Maschine.

Froment, einer der ersten, der sich mit dieser Art von Maschinen beschäftigt hat, hat verschiedene, sämmtlich sehr sinnreiche Einrichtungen erdacht. Die Maschine, welche wir in Folgendem beschreiben wollen, und die in Fig. 610 dargestellt ist, wurde von ihm nach der Angabe des Herrn Bourbouze construirt. Diese Maschine besteht aus vier hohlen Cylindern A, B, von denen zwei in der Figur durch die beiden andern verdeckt sind; diese Cylinder sind in einer grossen Anzahl von Windungen mit Kupferdraht, der mit Seide umsponnen ist, umwickelt; im In-

nern der Cylinder können sich die Kerne C,D von weichem Eisen ohne Reibung bewegen. Die beiden Kerne C, welche, wie aus Fig. 611 ersichtlich, an ihrem oberen Theile durch ein Querstück, gleichfalls von weichem Eisen, vereinigt sind, sind an dem Ende E des Balanciers EFG (Fig. 610) mittelst eines Gelenkes aufgehängt; ebenso die Kerne D an dem Ende G dieses Balanciers. Die auf- und abgehende Bewegung, welche den Stücken C,D in einer Weise, wie wir sie sogleich näher beschreiben werden, durch die Wirkung der Elektricität mitgetheilt wird, bringt eine oscillirende Bewegung des Balanciers um den Punkt F hervor. Dieser Balancier verlängert sich nach H und ist in diesem Punkt mit einer Bleuelstange HK verbunden, welche den Zapfen K einer, an einer Welle befindlichen Kurbel ergreift. Die oscillirende Bewegung des Balanciers bringt auf diese Weise die Drehung der Welle hervor; ein Schwungrad, welches an dieser Rotation Theil nimmt, ist dazu bestimmt, die Bewegung zu reguliren.

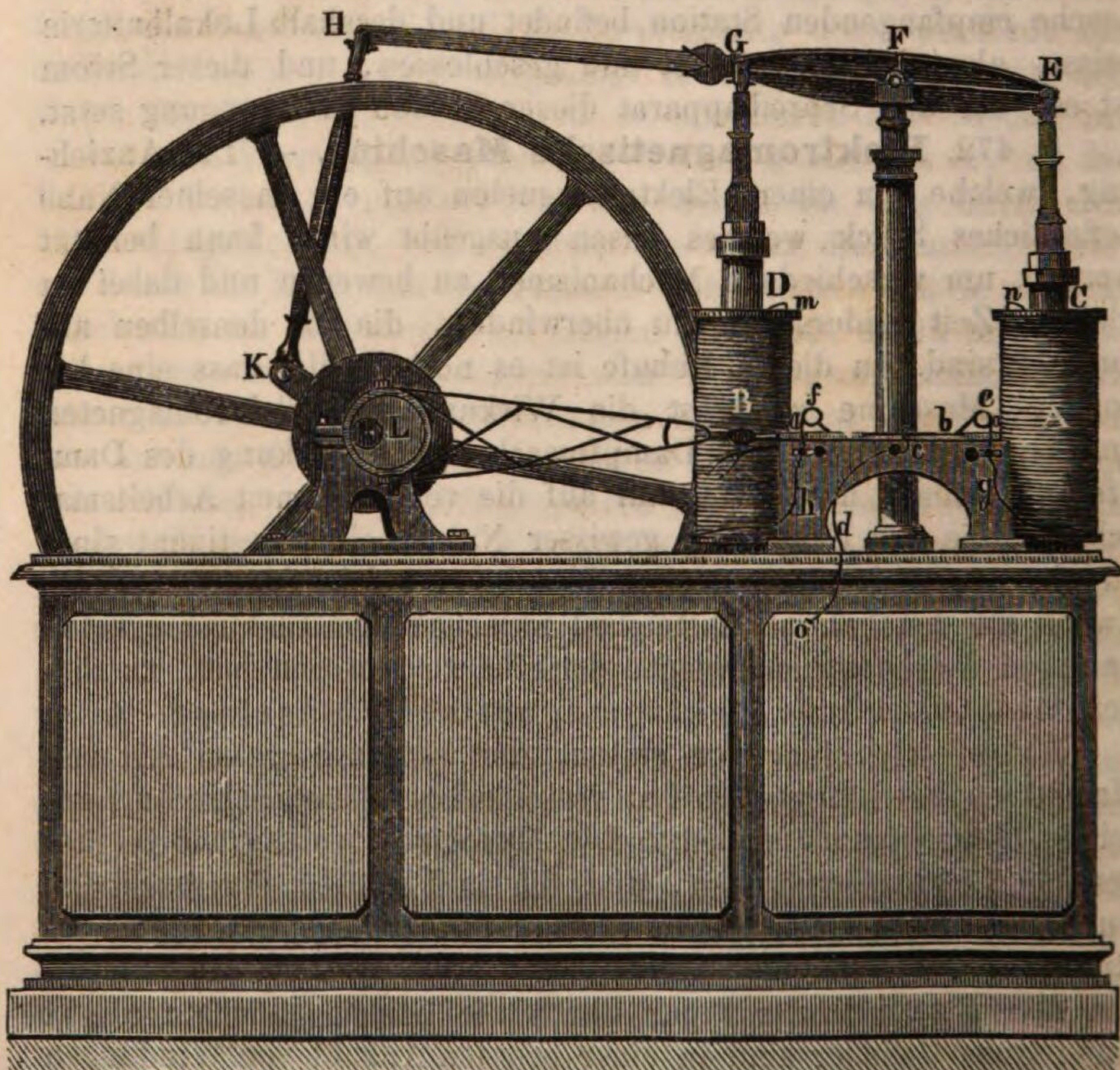


Fig. 610.

Um zu erklären, auf welche Weise eine hin- und hergehende Bewegung der Stücke C,D durch die Elektricität hervorgebracht wird, halten wir uns speciell an die Fig. 611. Man sieht in derselben die beiden Eisencylinder C, welche in das Innere der hohlen Cylinder A bis fast in die Mitte ihrer Höhe eindringen. Zwei andere Cylinder C′, ebenfalls von Eisen, füllen die untere Hälfte der Höhlungen der Cylinder A aus und sind an ihren unteren Enden mittelst eines Eisenstückes bleibend vereinigt. Man hat also eigentlich zwei von einander getrennte Stücke CC,C′C′, deren jedes die Form eines Hufeisenmagnets hat, und welche beide so angebracht sind, dass sie sich unter dem Einfluss des elektrischen Stroms, welcher um die Cylinder A kreist, in Magnete verwandeln können. In Folge der getroffenen Einrichtung befinden sich die ungleichnamigen Pole der Magnete CC u. C′C′ einander gegenüber; sie ziehen sich also einander an und suchen mit einander in Berührung zu kommen. Da aber der Magnet C′C′ feststeht, so ist es der Magnet CC allein, welcher sich in Bewegung setzt und auf diese Weise das Ende E des Balanciers herabsenkt.

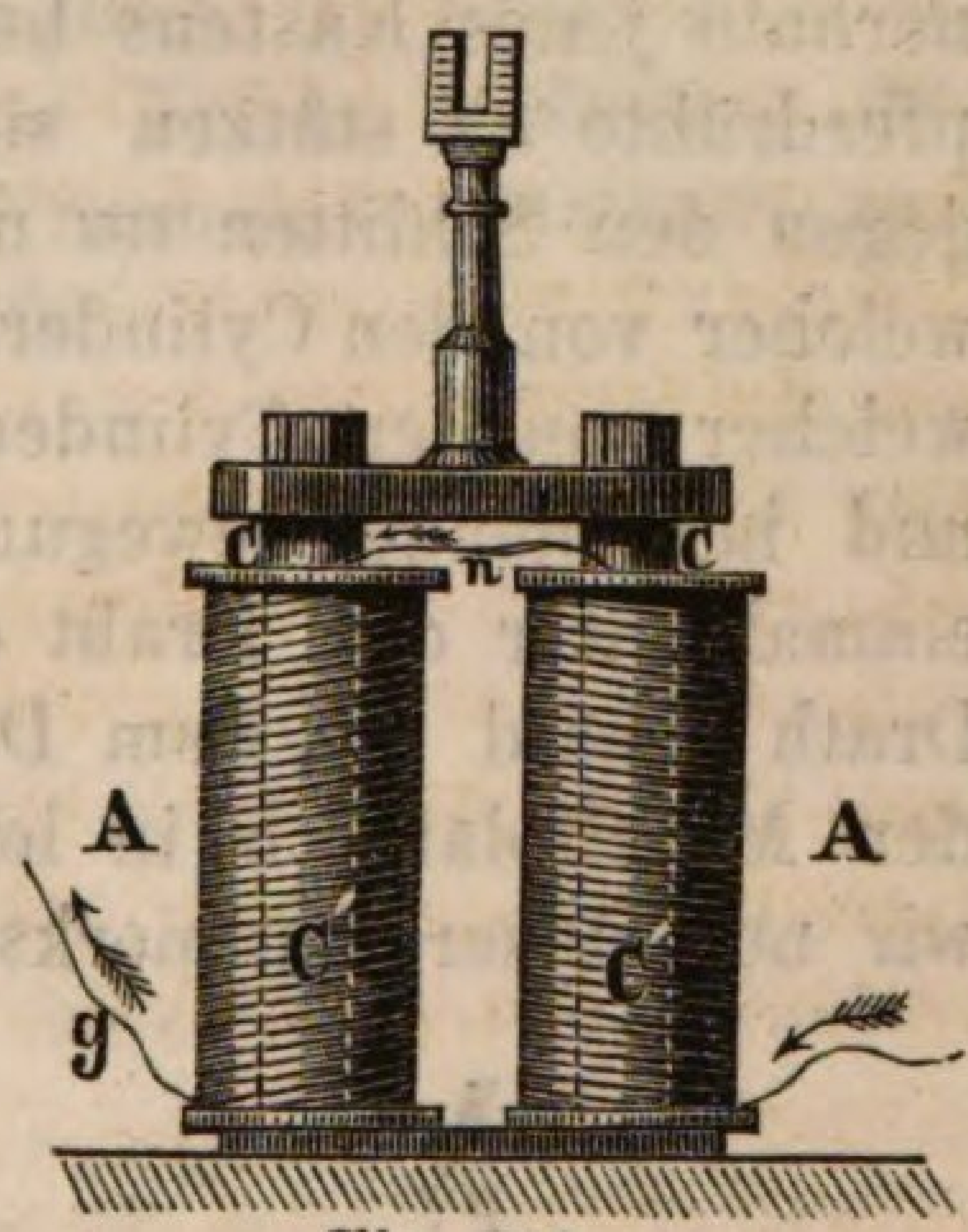


Fig. 611.

Wenn diese Bewegung hervorgebracht ist, so wird der um die Cylinder A kreisende Strom unterbrochen, die Stücke CC,C′C′ kehren dadurch in ihren natürlichen Zustand zurück und hören auf sich anzuziehen. Aber zu gleicher Zeit wird der um die Cylinder B gehende Strom geschlossen; dadurch verwandeln sich die Eisenkerne D, sowie die unter ihnen befindlichen (D′) in Magnete, und der Punkt G des Balanciers wird durch die hieraus folgende Anziehung herabgesenkt. Nachdem der elektrische Strom diese Wirkung hervorgebracht hat, geht er von Neuem um die Cylinder A u. s. f.

Dieses abwechselnde Oeffnen und Schliessen des Stromes, so dass er einmal um den Cylinder A, dann um den Cylinder B kreist, besorgt die Maschine selbst. Zu diesem Zwecke trägt die Welle, welche in Rotation versetzt wird, eine Excentrik L (Fig. 610), welche einem Schlitten *aa* eine hin- und hergehende Bewegung ertheilt. Dieser Schlitten, welcher von einer kleinen Elfenbeinplatte gebildet wird, ist auf einen Theil seiner Länge von einem Metallstreifen *b* bedeckt. Ein Kupferdraht *c* krümmt sich auf solche Weise, dass er mit seiner Spitze, ungeachtet der hin- und her-

gehenden Bewegung, welche der Schlitten durch die Excentrik erhält, fortwährend leicht federnd gegen die Oberfläche des Metallstreifens *b* angedrückt wird. Dieser Draht ist mittelst des Leitungsdrahtes *d*, welcher bei *o* in den Kasten eindringt, auf welchem die Maschine steht, mit dem einen Pol der Batterie, die sich innerhalb jenes Kastens befindet, in Verbindung. Zwei andere Kupferdrähte *e,f* stützen sich gleichfalls mit ihren Enden federnd gegen den Schlitten *aa* und stehen, der eine mit dem Draht *g*, welcher von den Cylindern A kommt, der andere mit dem Draht *h*, welcher von den Cylindern B ausgeht, in Verbindung. Die hin- und hergehende Bewegung des Schlittens *aa* führt die Platte *b* einmal unter den Draht *e*, einmal unter den Draht *f*, sodass der Drath *c* bald mit dem Draht *g*, bald mit dem Draht *h* mittelst der Metallplatte *b* in leitende Verbindung gesetzt wird. Indem wir nun unsere Aufmerksamkeit der Fig. 612, die ein horizontaler Durchschnitt des Theils der Maschine ist, mit welchem wir uns eben beschäftigen, zuwenden, werden wir sehen, dass der elektrische Strom, welcher durch den Draht *p* von dem einen Pol der Batterie kommt, je nach der Stellung des Schlittens *aa*, auf zwei verschiedenen Wegen nach dem Draht *d* übergehen kann, um durch diesen zum anderen Pol der Batterie zu gelangen. In der in der Figur angegebenen Stellung des Schlittens *aa* geht der Strom von *p* auf *q* über, umkreist hierauf, von unten nach oben steigend, den ersten Cylinder A, um durch den Draht *n* auf den zweiten Cylinder A überzugehen, den er, von oben nach unten gehend, umkreist. Von diesem zweiten Cylinder aus geht er durch *g* nach *e*, um von da durch die Platte *b* nach *c* überzugehen und mittelst des Drahtes *d* zum anderen Pol der Batterie zurückzukehren. Der Durchgang durch die Cylinder B ist unterbrochen, weil der Draht bei *f* auf der Elfenbeinplatte, die ein Nichtleiter der Elektricität ist, schleift. Wenn in Folge der Rotation der Schwungradwelle die Excentrik die Metallplatte *b* unter den Draht *f* führt, so geht der elektrische Strom durch die Cylinder B, während sein Durchgang durch die Cylinder A unterbrochen ist.

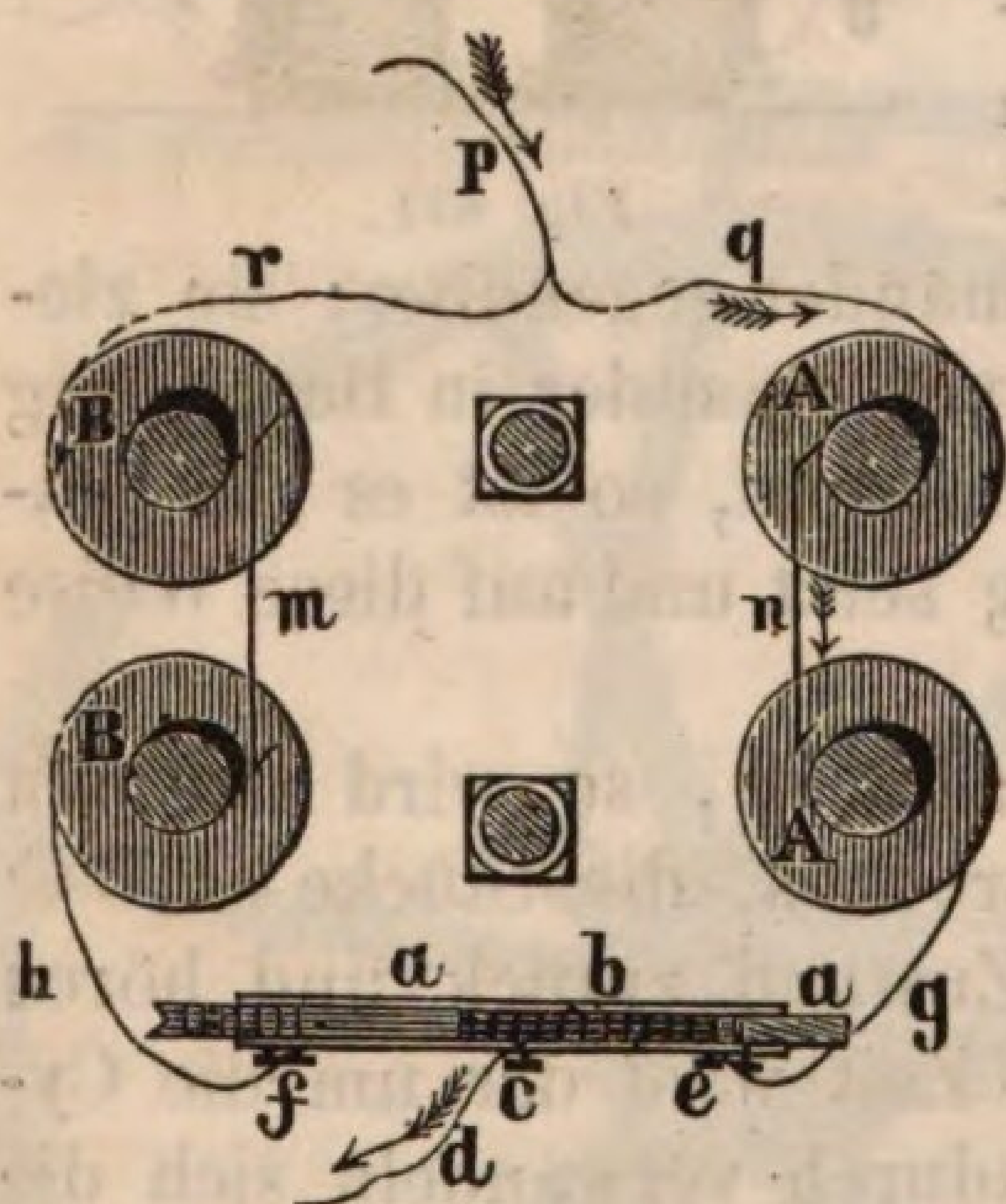


Fig. 612.

Froment wendet seine elektromagnetischen Maschinen dazu an, um Theilmaschinen in Bewegung zu setzen und bedient sich

ihrer auf diese Weise hauptsächlich zur Theilung des Limbus der Kreise, die zum Winkelmessen dienen. Er erreicht auf diese Weise Resultate von ausserordentlicher Genauigkeit, und diese grosse Genauigkeit ist hauptsächlich der Regelmässigkeit zuzuschreiben, mit welcher seine Bewegungsmaschinen arbeiten. Alle Versuche, die elektromagnetischen Maschinen im Grossen in die Industrie einzuführen, sind bis jetzt ohne Erfolg geblieben. Die stärkste Maschine dieser Art, welche Froment construirt hat, gab eine Leistung von einer Pferdekraft.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

Alphabetisches Inhalts-Verzeichniss.

Seite

Abplattung der Erde 445
Abscheu vor dem leeren Raum 468
Achse eines Wagens 360
Aeolipila Heron's von Alexandrien 780
Aggregatzustände der Körper 3
Aichen eines fliessenden Wassers 598
Alkoholometer 521
Allgemeine Eigenschaften der Körper 1
Amboss . 306
Amplitude der Schwingungen 175
Angriffspunkt 19
Anker, — Hemmung 337, 344
— bei Elektromagneten 878
Ankeruhr 344
Anlage einer Pumpe 653
— eines Wasserrads 721
Anlauf einer Maschine 258
Ansatzröhrchen 546, 603
—, cylindrische 546
—, konische 549
Antrieb einer Kraft 163
— eines Widerstandes 165
Appold's Centrifugalpumpe 667
Aräometer 518
Arago's Geschichte der Erfindung der Dampfmaschinen . 780
Arbeit, Einheit derselben 135
— der Kräfte 131, 166
— der Widerstände 136
Archimedes, Beweis des Hebelgesetzes 30
Archimedisches Princip 504
Arnoux, System der gegliederten Wägen 373
Artesische Brunnen 581, 585, 587

Seite

Atmosphäre 462, 471
—, Grenze derselben 463
Atmosphärische Dampfmaschine 787
— Eisenbahn 384, 743
Atome 1
Atwood'sche Fallmaschine 143
Aufhängeart der grossen Glocke zu Metz 266
Aufschlagwasser 707
Auftrieb 505, 529
Aufwerfhammer 306
Aufziehen einer Uhr 336, 342, 350, 352
Aufzugsmaschine 88
Ausdehnung und Zusammenziehung der Körper durch Temperaturänderung 2
Ausdehnung der Gase durch die Wärme 482
Ausfluss einer Flüssigkeit durch eine grössere Oeffnung in einer Seitenwand 552
— einer Flüssigkeit durch eine kleine Oeffnung . . 535, 544
— eines Gases durch eine Oeffnung 600
— unter Wasser 545, 557
Ausflusscoëfficient 541
— für Schützen 555
Ausflussgeschwindigkeit 536
— eines Gases 600
Ausflussmenge 539, 602
Auslassventil 793, 802
Auslauf einer Maschine 258
Austragrohr 726
Axe . 10

Baggermaschine 632
Baggerschiff 632
Bahn . 7
Ballast 522
Bandbremse 268
Barometer 467
Barometerprobe 741
Batterie eines Pochwerks 309
Baumé's Aräometer 521
Bergwerkspumpen 661
Berton's System von Windflügeln 767
Beschleunigte Bewegung 10

Seite

Beschleunigung 149
— der Schwere 151, 179, 447
Bewegende Kraft 136, 157, 162, 216
Bewegung, absolute und relative 6, 7
— auf der schiefen Ebene 169
— auf einer krummen Linie 172
— der Flüssigkeiten in Röhren 566
— der Gase in Röhren 603
— der Himmelskörper 194
— des Wassers in Flüssen 591
— des Wassers in Kanälen 588
—, Erzeugung und Veränderung derselben durch die Kräfte 138
— flüssiger und luftförmiger Körper 535
—, gerad- oder krummlinige, kreisförmige, parabolische . 8
—, krummlinige eines ganz freien Körpers 182
Bewegungsarbeit 137
Bewegungsgrösse 163, 216
Billard . 230
Birnbarometer 473
Blasbalg . 750
— mit doppeltem Wind 751
Blasrohr an Lokomotiven 872
Bleiloth 174, 446
Bodendruck 432
Bodenstein 292
Borda's Methode der doppelten Wiegung 70
Bourdon's Metallmanometer 840
Bramah's Presse 685
Branca's Dampfmaschine 781
Bremsdynamometer 396
Bremse 268, 368, 385
Brenner einer Lampe 673
Brennmaterial, Heizkraft und zweckmässige Benützung desselben bei Dampfmaschinen 847
Briefwage . 74
Brückenwage 71

Callon'sche Turbine 713
Calorische Maschine 852
Carcel'sche Lampe 679
Cavé's Krahn 94
— Hammer . 301

Seite

Cavé's Tympanum 641
— Uebertragung der Bewegung des Kolbens bei Dampfmaschinen 832
Centralbewegung 197
Centrifugalapparate 204
Centrifugalkraft 199
— bei Eisenbahnen 372
Centrifugalpumpe 666
Centrifugalregulator 253, 815
Centrifugaltrockenmaschine 209
Centripetalkraft 197
Chaigneau und Bichon's Dampfmaschine 850
Champagnersteine 294
Charles, Charlièren 532
Circularsäge 301
Clapeyron'sche Expansion 822, 865
Clegg's System atmosphärischer Eisenbahnen 744
Cohäsionskraft 14
Combe's Ventilator 755
Communicirende Gefässe 439, 487
Compensationspendel 350
Compensationsunruh 350
Componenten 20
Composanten 20
Compressionspumpe 749
Comprimirte Gase als Motoren 394
Condensation des Dampfes 776
Condensator 792, 793, 813
—, Beseitigung desselben 829
Constanter Ausfluss 561
Constantes Niveau 490
Contraktion, vollständige 553
—, unvollständige 555
—, unvollkommene 555
Contraktionscoëfficient 541
Contraktionsquerschnitt 540
Cornwaller Dampfmaschine 797
— Ventil 806
Coulomb's Versuche über die Reibung 236
— Versuche über den Widerstand des Rollens 243

Seite
Cylindergebläse 752
Cylinderuhren 345

Dachstuhl. 117
Dampf als Motor 394, 773
—, seine Eigenschaften 774
Dampfcylinder 785
Dampfkammer 811
Dampfkessel 832
Dampfkolben 785
Dampfmaschine 773
—, Cornwaller 797
—, doppelt wirkende Watt'sche 808
—, Erfindung derselben 780
— mit Hochdruck 826, 829
— mit combinirten Dämpfen 851
— mit oscillirendem Cylinder 832
— von Chaigneau und Bichon, sowie von Wethered mit überhitztem Dampf 850
— von Siemens mit regenerirtem Dampf 850
—, Woolf'sche mit zwei Cylindern 826
Dampfpfeife 843
Dampfpferd 136
Dampfschiffe 620, 863
Dampfstrahlpumpe von Giffard 875
Decimalwage 73
Depressionskräfte 14
Dichtigkeit 2
Doppelt wirkende Pumpe 656
— Wassersäulenmaschine 729
— Watt'sche Dampfmaschine 808
Drehscheiben 378
Drehung eines Körpers um eine feste Axe 212
Drehungsaxe 10
Drops . 391
Drosselventil 579, 603, 816
Druck auf die Flächeneinheit 416
— der atmosphärischen Luft 465, 470, 484
— des Wassers auf eine Schütze 429
— einer bewegten Flüssigkeit gegen einen eingetauchten Körper 611

Seite

Druck einer Flüssigkeit auf die Wände 427
— eines bewegten Gases auf einen Körper 613
— eines Flüssigkeitsstrahls gegen eine Fläche 606
— eines Hebels auf seinen Unterstützungspunkt 62
— eines Körpers gegen seine Unterstützungspunkte . . . 56
— im Innern einer Flüssigkeit 416
— in einem Punkte einer Flüssigkeit 417, 419
— in schweren Flüssigkeiten 417
— in schweren Gasen 459
— und Zug . 15
Druckpumpe 648, 651
Dulong und Arago's Versuche über das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes 776
Durand's Windmühlen 769
Düse . 751
Dynamik . 21
Dynamisches Pferd 136
Dynamometer 17
Dynamometrische Bremse 396
— Kurbel . 402

Ebbe und Fluth 448
Echappement 332
Eimer . 642
Einlassventil 793, 802
Eisenbahnen 369
Eisenbahnräder 370
Elasticität 4
Elasticitätsgrenze 4
Elastische Flüssigkeiten 4
Elektricität als Motor 394, 878
Elektromagnete 878
Elektromagnetische Maschinen 885
Empfindlichkeit einer Wage 66
Erdwinde 79, 273
Erfindung der Dampfmaschinen 780
Ericsson's calorische Maschine 853
Esel als Motor 407
Excentrik, dreieckige 817
—, Expansions- 819
—, Kreis- 814, 818, 868
Expansion . 794

Seite

Expansion, Clapeyron'sche 822, 865
—, Meier'sche 823, 828
—, veränderliche 828
Expansionsarten 822
Explosionen von Dampfkesseln 835, 837
Eytelwein's Formel für die Bewegung des Wassers in Kanälen 591

Fall der Körper 139
— im luftleeren Raum 140
Falle . 96
Fallformeln 150
Fallraum 149
Fallröhre 139
Fallschirm 615
Feder als Motor 326, 394
Federhaus 327
Federwage 16
Feste Körper 3
Feste Rolle 75
Feuerspritze 657
Flasche, Flaschenzug 76
Fliehkraft 199
Flüssige Körper 4
Flüssigkeiten im Gleichgewicht 412
— in Bewegung 535
— unter der Wirkung beliebiger Kräfte 442
Flüssigkeitsfaden 536
Flüssigkeitsstrahl 541
Flüssigkeitswagen 520
Förderungsmaschinen 644
Fontaine'sche Turbine 715
Fortin's Reisebarometer 476
Fortpflanzung der Bewegung in den Körpern 217
— des Druckes in flüssigen Körpern 412
— des Druckes in Gasen 456
Fourneyron'sche Turbine 707
Fournirsäge 296
Franchot's Moderateurlampe 680
Friktionsrollen 97, 264, 265
Froment's elektromagnetische Maschinen 885

Seite
Galilei's schiefe Ebene 141
Gang, Ganghöhe 108
Gase . 4
Gasleitung 605
Gasometer. 603
Gay-Lussac'sches Gesetz 482
— Reisebarometer 479
Gebläse. 752
Gebundene Wärme 778
Gefäll, Gefällshöhe 690
Gefässbarometer 472
Gegenpaar 28
Gegenwinde 127
Gekuppelte Räder 383
Gesättigter Dampf 774
Geschwindigkeit auf Eisenbahnen 385
— der gleichförmigen Bewegung 9
— der ungleichförmigen Bewegung 10
— des Wassers in Flüssen, Messung derselben 594
— — Angabe einiger Geschwindigkeiten 598
— eines Luftstromes, Messung derselben 605
— — Angabe einiger Geschwindigkeiten 606
Geschwindigkeitscoëfficient 539
Gesperre 91
Gestalt der Erde. 444
Gestaltsveränderung durch den Stoss 232
Getreidemühlen 289
Getreideputzmühle 754
Gewehre und Büchsen 193
Gewicht 15, 42, 447, 528
—, als Motor 326, 394
— der Gase 458
Gewichtsaräometer 518
Giffard's Dampfstrahlpumpe 875
Girard's hydropneumatische Turbine 719
— Lampe . 679
Gleicharmige Wage 63
Gleichförmig beschleunigte Bewegung 149, 152
— periodische Bewegung 9
— verzögerte Bewegung 154
Gleichförmige Bewegung 8

Seite
Gleichförmige Rotationsbewegung 11
Gleichgewicht . 20
— an Säulen oder Ketten 112
— der Kräfte an Holzverbindungen 116
— eines schweren Körpers, welcher auf einer horizontalen Ebene aufruht 51
— eines schweren Körpers, welcher sich blos um eine horizontale Axe drehen kann 60
— flüssiger und luftförmiger Körper 412, 496
— paralleler Kräfte 29
— von Kräften, die nach der nämlichen Geraden wirken 23
— von Kräften, die nach verschiedenen Richtungen an dem nämlichen Punkt wirken 33
— von Kräften, die nach verschiedenen Richtungen an verschiedenen Stellen eines festen Körpers wirken . . . 39
Gleichgewichtsniveau eines artesischen Brunnens . . 584
Gleichgewichtsventil 793, 802
Gleichmässige Fortpflanzung des Druckes 416
Göpel . 643
Gosse . 292
Gramm . 16
Grenzfläche zweier Flüssigkeiten 437

Haarröhrchen 456
Hahn, Zweck desselben in Röhren, die von Flüssigkeiten oder Gasen durchströmt werden 579, 603
Haldat's Apparat 432
Haltbares Gleichgewicht 21
Haltungen . 525
Hammerwerke 301
Haquet . 71
Haspel . 78
Hebebock . 91
Hebel . 29
Hebelarme 30, 31
Hebelgesetz . 30
Heben von Flüssigkeiten 628
Heber . 558
Heberbarometer 472
Heblatte . 308
Heizkraft der Koks und Steinkohlen 847
Hemmschuh . 387

Seite
Hemmung 332
—, Anker- 337, 344
—, Cylinder- 345
—, freie 347
—, ruhende 338, 347
—, zurückspringende 334, 339
Henschel'sche Turbine 717
Heron's von Alexandrien Aeolipila 780
Heronsbrunnen 565
Hochdruckmaschine ohne Condensation 790, 826
—, Vortheile derselben 829
Hochwasser 593
Horizontalschub 117
Hoyer . 310
Höhenmessen mit dem Barometer 475
Hubpumpen 653
Huyghens 337, 343
Hydraulische Motoren, Bedingungen, welche diese zu erfüllen haben 691
Hydraulische Presse 423, 683
Hydraulischer Druck 571
Hydraulischer Widder 733
Hydrometrischer Flügel 594
Hydropneumatische Turbinen 718
Hydrostatische Lampe 679
— Wage 506

Indikator von Watt 843
Indikatorcurven 845
Intermittirende Quellen 563
Intermittirender Ausfluss 561
— Brunnen 561
Jonval'sche Turbine 717
Isochronismus der Pendelschwingungen 175
Juncker's Wassersäulenmaschine 723

Kaltwasserpumpe 814
Kameele 524
Kanäle . 524
Kapillar-Attraktion 456
— -Depression 456
— -Erscheinungen 449
— -Röhrchen 456

Seite
Katarakt 803
Kegelräder 89
Kegelventil 646
Keil . 111
Kepler'sche Gesetze 198
Kesselstein 836
Kettenbrücken 113
Kilogramm 17
Kilogrammeter 135
Klappenventil 646
Kniee, Wirkungen derselben bei der Bewegung von Flüssigkeiten in Röhren 577
— —, von Gasen in Röhren 603
Kolben 645, 647, 785
Konische Räder 89
Köchlin'sche Turbine 717
Körpertheilchen 2
Kraft, Kräfte 14
Kraftmaschine 395
Kraftwasser 723
Kräfte nach verschiedenen Richtungen an dem nämlichen Punkt 33
— nach verschiedenen Richtungen an verschiedenen Stellen eines festen Körpers 39
—, parallele 29
—, welche beim Stoss thätig sind 228
—, welche nach der nämlichen Richtung hin wirken . . . 22
Krahn 94, 269
—, transportabler 98, 100
Kreisbewegung 198
Kronrad 333
Kropfgerinne 699
Kufenrad 705
Kugelventil 646
Kunstgestänge 662
Kunstrammen 313
Kurbelbewegung 248
Küchenblasbalg 750

Labiles Gleichgewicht 20, 53, 61
Laignel's Bremse 386
Lampe, Carcel'sche 679

Seite
Lampe, Girard'sche 679
—, Hydrostatische 679
— Moderateur- 680
Lampencylinder 673
Lampensysteme 672
Laterne 89
Laufrollen 264
Laviren 761
Lärmschwimmer 842
Läufer 292
Lebendige Kraft 168
Lebendige Potenz 165, 216
Leistungsfähigkeit, theoretische 395
Leitcurven 710
Leitschaufeln 710
Leuchtgas 603
Liderung 647
Löffelrad 704
Lokomobilen 873
Lokomotiven 381, 864
Lose Rolle 76, 84
Luftballon 530
Luftfeuerzeug 5
Luftförmige Körper 5
Luftpumpe 738
— einer Dampfmaschine 799, 813
Luftschifffahrt 625
Luftwechsel in Bergwerken 499
Luftwiderstand, Einfluss desselben auf die Wurfbewegung 192

Magdeburger Halbkugeln 467
Mahlgang 295
Mahlgut 293
Mahlmühlen 289
Manometer 492, 838, 839
— Bourdon's 840
— mit freier Luft 492, 838
— mit verdichteter Luft 493, 838
Mansardendach 118
Mariotte'sches Gesetz 480
Marly, Pumpwerk daselbst 663

Seite

Maschinen im Zustande der gleichförmigen Bewegung . 119
— im Zustande der ungleichförmigen Bewegung 247
— im Zustande des Gleichgewichts 62
— zum Heben der Flüssigkeiten 628
— zur Bewegung der Gase 737
Masse eines Körpers 2, 162
Mathematisches Pendel 178
Maximum der Spannkraft des Dampfes 774
Mechanik 1
— flüssiger und luftförmiger Körper 412
Meier'sche Expansion 823, 828
Mensch, als Motor 400
Mess- und Vertheilungsbecken 669
— in Marly 669
Metacentrum 514
Metallkolben 816
Metallmanometer 840
Methode der doppelten Wiegung 70
Mittel . 235
Mittelkraft 20
Mittelpunkt der Centralbewegung 197
— der parallelen Seitenkräfte 27
— des Druckes 429
Mittelschlächtiges Wasserrad 699
Mittlere Geschwindigkeit 185
— Geschwindigkeit einer Flüssigkeit bei ihrer Bewegung in Röhren 568
— — in Kanälen 589
— — in Flüssen 597
Moderateurlampe 680
Molekularkräfte 14
Moleküle 2
Montgolfier, Montgolfièren 530
—, dessen hydraulischer Widder 733
Morin's Versuche über die Reibung 237
Morin'scher Apparat 154
Morse's Schreib- oder Drucktelegraph 880, 881
Motoren . 393
—, thierische 393, 400
Mühlsteine, Art der Behauung 294
Münzbalancier 316

Seite

Münzplatten 315
Münzpresse 321
Münzschwengel 316

Newcomen's Dampfmaschine 787
Newton's Gravitationsgesetz 194, 198, 203
Noria 632, 637
Nutzarbeit 260, 395
Nutzeffekt 260, 395, 694
Nutzwiderstände 260
Nützliche Widerstände 234

Obelisk von Luxor, Umlegung, Transport und Aufrichtung desselben 277
Oberfläche einer schweren Flüssigkeit 425
Oberschlächtiges Wasserrad 697
Oberwasser 718
Ochse als Motor 406
Oerstedt's Apparat 495
Otto v. Guerike, Luftpumpe 742
—, Magdeburger Halbkugeln 467

Papin's Dampfmaschinen 783, 785, 790
Parabel des schiefen Wurfes 188, 191
Parallele Kräfte 23
Parallelogramm der Geschwindigkeiten 185
— der Kräfte 37
—, Watt'sches 806
Pascal, Haquet 107
—, Höhenmessen 475
—, hydraulische Presse 424
Passive Widerstände 234, 259, 262, 268
Paternosterwerk 630
Pendel . 174
—, als Regulator 337
—, einfaches 178
—, zusammengesetztes 178
Periodische Rotationsbewegung 12
Perpetuum mobile 119, 407
Pferd als Motor 405
Pferdegöpel 406, 644
Pferdekraft 135, 406
Piezometer 494

Seite

Pneumatische Schraube 756
Pneumatisches Feuerzeug 5
Pochstempel 306
Pochwerke 306
Poncelet's Dynamometer 18
— und Lesbros' Mündungen und Ausflusscoëfficienten . . 553
— Wasserrad 702
Poren . 2
Porosität 2
Prägbüchse 319, 322
Prägmaschine 315
Prägring 318, 323
Prägstempel 318
Prellbalken 304
Probirhähne 841
Prony's Formel für die Bewegung des Wassers in Röhren 568
— Wasserzoll 669
— Zaum . 397
Pumpen . 645
— für den häuslichen Gebrauch 654
— von Marly 663
Pumpencylinder 645
Pumpenstiefel 645

Quintenz'sche Wage 71

Radbarometer 473
Radschuh 269, 369
Rammbär . 310
Ramme . 310
Räderschiffe 619
Rändelmaschine 319
Reaktion des Wassers 706
Reaktionsräder 706
Recipient 739
Regelmässige Bewegung 9
Regenerator 854
Regenerirter Dampf 850
Register . 834
Regnault's Versuche über das Mariotte'sche Gesetz . . 482
— Versuche über das Gay-Lussac'sche Gesetz 483
— Versuche über die Eigenschaften des Wasserdampfes 776, 779

Seite

Regulator an Uhren 332
Regulirventil 801
Reibung eines Seils an der Oberfläche eines Cylinders . 269
—, gleitende 235
—, wälzende 235
Reibungscoëfficient 241
Reichenbach's Wassersäulenmaschine 733
Reisebarometer 476
Relais . 885
Resultante 20
Resultantengeschwindigkeiten 185
Richten einer Uhr 335
Richtigkeit einer Wage 65
Richtung einer Kraft 19
Riemen ohne Ende 83
Riemenrollen 83
Roberval'sche Wage 129
Rolle . 75
Rotationsbewegung 10, 212
Rotationspumpe 660
Ruder . 617
Ruhe, absolute und relative 6, 7
Rumpf . 292
Rückenschlächtiges Wasserrad 699

Salomon de Caus' Dampfmaschine 780
Saugen . 488
Saugheber 558
Saughöhe einer Pumpe 650, 651
Saugmaschinen 747
Saugpumpen 648
Saug- und Druckpumpen 648, 652
Saug- und Hubpumpen 653
Saugröhre 648
Saumlatten 763
Savery's Dampfmaschine 784
Sägegatter 297
Sägewerke 295
Scalenaräometer 520
Schaufelräder 620
Schaukelbewegung 180
Schädlicher Raum 742

Seite
Schieber . 811
Schiefe Ebene 102
—, selbstwirkende 388
— von St. Germain 746
Schienen, randlose Kanten- 370
—, Spur- 370
Schienenräumer 873
Schienenstühle 370
Schiffe und Kähne 522
Schlagwerk 354
Schleife 359
Schleifschienen 865
Schleifstein 84, 247
Schleuder 200
Schleusen 525
Schleusenkammer 525
Schleusenthore 525
Schlitten 359, 831
Schlittschuhe 359
Schlüssel des Morse'schen Schreibapparats 882
Schnecke 327
Schnellwage 73
Schornsteine 502
Schottische Turbine 707
Schöpfräder 638
—, fränkische 640
Schraube 107
—, einfache, doppelte, mehrfache 108
— ohne Ende 126
—, Schiffs- 620
Schraubengewinde, flaches, scharfes 108
Schraubenlinie 108
Schraubenmutter 108
Schraubenpresse 125
Schraubenschiffe 620
Schraubenspindel 108
Schreibapparat, Morse'scher 881
Schrötling 315
Schubkarren 32, 361
Schusslinie 193
Schütze 691, 692

Seite

Schwanzhammer 306
Schwellen 370
Schwere, Schwerkraft 14
Schwere Körper als Motoren 394
Schwerpunkt 42
— einer dreiseitigen und vielseitigen Pyramide . . . 49, 50
— einer ebenen geradlinigen Figur 49
— einer Fläche 46
— einer Kreisfläche 46
— einer Kugel 45
— eines Dreiecks 46
— eines homogenen Körpers 45
— eines Kegels 50
— eines Körpers, der aus mehreren anderen zusammengesetzt ist 48
— eines Parallelepipeds 45
— eines Parallelogramms 46
— eines Prismas 49
— eines regelmässigen Vielecks 46
— eines Ringes 45
— eines senkrechten oder schiefen Cylinders 45
Schwerpunktsbestimmung durch den Versuch . . . 44
— durch die Geometrie 45
Schwimmende Körper 510
Schwimmfläche 522
Schwingungsbögen 175
Schwingungsdauer 175, 177, 447
Schwungrad 250, 258
Secundenpendel 180, 448
Segel 760
Segelschiffe 760
Séguin's Dampfkessel für Lokomotiven 864
Seitendruck 434
Seitengeschwindigkeiten 185
Seitenkräfte 20
Selbstwirkende schiefe Ebene 388
Sicherheitsröhren 491
Sicherheitsventil 686, 785, 837, 872
Sioderöhren 834
Siemens' Dampfmaschine 850
Specifisches Gewicht 2

Seite

Specifisches Gewicht, Bestimmung desselben mittelst des Archimedischen Prinzips 516
Speisepumpe 801, 813, 873
Sperrklinke 91, 299, 336
Sperrrad 91, 299, 336
Spindel 334
Spindeluhr 334
Spirale einer Taschenuhr 343
Springbrunnen 566, 580
Sprossenrad 80, 405
Spurkranz 370
Stabiles Gleichgewicht 20, 53, 61
Stampfwerke 306
Standfestigkeit 53
— der Wägen 362
Statik . 21
Steifigkeit der Seile 235, 244
Steigkraft eines Luftballons 534
Steigrad 333, 337, 345
Steigröhre 651
Steigungen auf Eisenbahnen 384
Steinheil, Erdleitung bei Telegraphen 880
Stephenson 864, 871
Stephenson'sche Coulisse 871
Steuerruder 616
Steuerstange 799
Steuerung des Luftballons 625
Stirnhammer 306
Stoss, schiefer, beliebig gestalteter Körper 229
— unelastischer Körper 220
— unvollkommen elastischer Körper 221
— vollkommen elastischer Körper 220
— zweier Körper 219
Stossapparate 224
Stosswinkel bei Windmühlen 765
Strassburger Wage 129
Strassenlaternen, Aufhängeart derselben 112
System gegliederter Wägen 376
Tabelle der Arbeit, erzeugt bei verschiedenen Expansionsgraden 797
— der Ausflusscoëfficienten nach Poncelet und Lesbros 553, 554

Seite
Tabelle der Ausflusscoëfficienten bei unvollkommener Contraktion 557
— der Ausflusscoëfficienten bei unvollständiger Contraktion 555
— der Fallhöhen und Fallgeschwindigkeiten 151
— der gebundenen und gesammten Wärme des Wasserdampfes 779
— der Geschwindigkeiten des Windes 606
— der mittleren und Oberflächen-Geschwindigkeit des Wassers in Kanälen und Flüssen 598
— der Reibungscoëfficienten 241
— der Reibungscoëfficienten der Zapfenreibung 242
— der Spannkraft des Wasserdampfes 777, 778
— der specifischen Gewichte 3
— der Zugkraft in ihrem Verhältniss zur Gesammtbelastung 365
Tambour 345
Taucherkolben 664
Telegraphen, elektrische 879
—, Schreib- oder Druck- von Morse 880, 881
—, Zeiger- 880
Telegraphiren 884
Tender . 873
Theilbarkeit 1
Thierische Kräfte 15, 401, 405, 406
Todte Punkte 811
— Rolle 84
Tonne . 17
Tonnengehalt eines Schiffes 522
Toricelli's Versuch 469
Toricelli'sches Gesetz 536
Totaleffekt 395
Transmission 84
Transport auf geneigter Bahn 366
— auf Rädern 360
—, direkter, durch Menschen oder Thiere 357
— durch Gleiten 358
— durch Rollen 359
— von Lasten 356
Trägheit der Materie 12
Trägheitsmoment 214
Trieb . 87

Seite
Trommel 83
Tropfbare Flüssigkeiten 4
Turbinen 707
—, Callon'sche 713
—, Fontaine'sche 715
—, Fourneyron'sche 707
—, Henschel-Jonval-Köchlin'sche 717
—, Hydropneumatische 718
—, Schottische 707
Tympanum 640
Ueberfälle 558
—, Wassermenge derselben 689
Ueberhitzer 849
Ueberhitzter Dampf 775, 849
Uebertragung der Arbeit in einer Maschine 256
— der Bewegung des Kolbens auf eine rotirende Welle . . 831
Uhlhorn's Münzpressen 316, 321
Uhren 325
Ungleichförmige Bewegung 10
— oder veränderte Rotationsbewegung 12
Unhaltbares Gleichgewicht 21
Unruh 333, 343
Unterschlächtiges Wasserrad 694, 702
Unterwasser 708
Unzusammendrückbare Flüssigkeiten 4
Ventilatoren 753
Ventile 645, 646
—, Cornwaller 806
Veränderte Bewegung 10
Verengungen, Wirkung derselben bei der Bewegung von Flüssigkeiten in Röhren 577
— — der Gase in Röhren 603
Verlegung des Angriffspunktes einer Kraft 23
Verlust an Arbeit durch den Stoss 273
Vertheilungsbecken 669
Vertikale Linie 19, 174, 446
Verzahnungen 86
Verzögerte Bewegung 10
Virtuelle Geschwindigkeit, Princip derselben 124
Voreilen des Schiebers 819
Vorleghaspel 88
Wagbalken 63
Wage 63
Wagen 361
—, zweirädriger 361
—, vierrädriger 362

Seite
Wagenwinde . 90
Walzen zum Transport 359
Wasser als Motor 394, 688
Wassergefäll, Herstellung eines solchen 688
Wasserkraft, Totaleffekt derselben 689
Wassermenge eines Flusses 591
— eines Kanals 590
—, Messung derselben 599
— von Flüssen und Strömen 599
Wassermühlen 290
Wasserräder, freihängende 703
—, mit horizontaler Axe 694
—, mit vertikaler Axe (s. Turbinen) 704
—, Mittel- oder Rückenschlächtige 699
—, oberschlächtige 697
—, Poncelet'sche 702
—, unterschlächtige 694
Wassersäulenmaschine, doppelt wirkende 729
—, einfach wirkende 722
Wasserschraube, Archimedische 633
—, Holländische 635
— in Mühlen 637
Wasserstandszeiger 841
Wassertrommelgebläse 757
Wasserzoll . 668
Watt . 791
Watt'sche Dampfmaschine, doppelt wirkende 808
—, einfach wirkende 791
Watt'sches Parallelogramm 806
Wärme als Motor 394
Wechsel . 376
Weg . 7
Wehr . 558, 689
Wellzapfen . 262
Wethered's Dampfmaschine 850
Wetterofen . 501
Whitelaw's Turbine 707
Widerstand der Luft beim Fall der Körper 613
— des Gleitens 235
— des Mittels 235, 245
— des Rollens 235, 242
— eines Gases gegen die Bewegung eines Körpers . . . 613
— gegen die Bewegung einer Flüssigkeit in Röhren . . 571
— gegen die Bewegung einer Flüssigkeit in Kanälen . . 558
— gegen die Bewegung eines Gases in Röhren 603
— gegen die Bewegung eines Körpers im Wasser . . . 612

Seite
Widerstandsarbeit 137, 167
Widerstehende Kräfte, Widerstände 136
Wiegen . 65
Wind als Motor 394, 759
Windbüchsen 750
Wind . 499
Winde 78, 79, 90
— mit Verzahnungen 88
Windflügel 763
Windkessel 659
Windmühlen 761
Windrad zur Regulirung der Bewegung 330
Windruthen 763
Windsprossen 763
Winkelgeschwindigkeit 11
— bei ungleichförmiger Rotationsbewegung 12
Winkelhebel 30
Wirkungsgrad 262, 395, 694
Woltmann'scher Flügel 594
Woolf'sche Dampfmaschine 826
Worcester's Dampfmaschine 782
Wurf, schiefer 186
—, senkrechter 152
Wurfapparat 189
Wurfbewegung 186
Wurfrad . 637
Wurfweite, Maximum derselben 191
Zahnräder . 86
Zahnstange 89
Zaine . 315
Zapfenreibung 242
Zeigerwage 74
Zeitmaass . 8
Zellen . 698
Zellenrad . 697
Zerlegung einer Kraft in Kräfte nach verschiedenen Richtungen, in demselben Punkt angreifend 37
— einer Kraft in parallele Seitenkräfte 26
Ziehbrunnen 643
Zubringer 320, 323
Zug . 15
Zugkraft zur Fortbewegung eines Wagens 364
Zugramme . 310
Zunge eines Wechsels 376
Zusammendrückbarkeit der tropfbaren Flüssigkeiten . 494
Zusammensetzung der Geschwindigkeiten 184
Zusammensetzung der Kräfte 19, 22, 23, 33, 39

Druck von C. R. Schurich in München.

Bayerische Staatsbibliothek München

Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Bauschinger, Johann,

Die Schule der Mechanik für den Selbstunterricht, besonders des praktischen Mechanikers und Handwerkers, sowie für den Gebrauch an technischen Lehranstalten dargestellt und mit Zugrundelegung von Delaunay's 'Elementarbuch der theoretischen und angewandten Mechanik' bearbeitet

München 1861

Math.a. 16 p-2
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10138328-7